BiNaS

Informatieboek voor natuurwetenschappen

7e editie






Noordhoff

Door het CvTE toegestaan bij de centrale examens biologie, natuurkunde en scheikunde.

NVON
NEDERLANDSE VERENIGING VOOR HET ONDERWIJS IN DE NATUURWETENSCHAPPEN

BINAS

De 7e editie van *Binas* is door het CvTE toegestaan bij de centrale examens natuurkunde, scheikunde en biologie, vanaf 2025 voor havo en vanaf 2026 voor vwo.
De inhoudelijke verantwoordelijkheid berust bij de *Binas*-commissie (havo/vwo) van de NVON.

BINAS havo / vwo

Informatieboek havo / vwo voor het onderwijs in de natuurwetenschappen

Samengesteld door een NVON-commissie

ir. R.E.A. Bouwens

drs. W. Kranendonk

ir. J.P. van Lune

drs. C.M. Prop - van den Berg

drs. J.A.M.H. van Riswick

drs. J.J. Westra

zevende editie

Noordhoff Uitgevers Groningen

Opmaak: Interlink Consultants, Oud-Beijerland
Ontwerp omslag en binnenwerk: Dorèl en anderen, Groningen
Technisch tekenwerk: Interlink Consultants, Oud-Beijerland
Illustratie tabel 90C uit: *Het menselijk lichaam*, Tony Smith, uitgeverij Davidsfonds/Leuven

Fotoverantwoording:
Shutterstock: Tabel 29 2e t/m 7e foto
J.A.M.H. van Riswick: Tabel 29 1e foto
new economy.eco: basis voor Tabel 97
Dr. R.G.M. de Goede: Tabel 93E3

Bij het ontwikkelen van dit informatieboek is bij het kleurgebruik rekening gehouden met kleurzienstoornissen. Het is desondanks mogelijk dat kandidaten bij het gebruik van dit informatiemateriaal van hun beperking hinder ondervinden. In de door het College voor Examens vastgestelde regeling toegestane hulpmiddelen is beschreven hoe de school bij de afname van de centrale examens daarmee dient om te gaan.

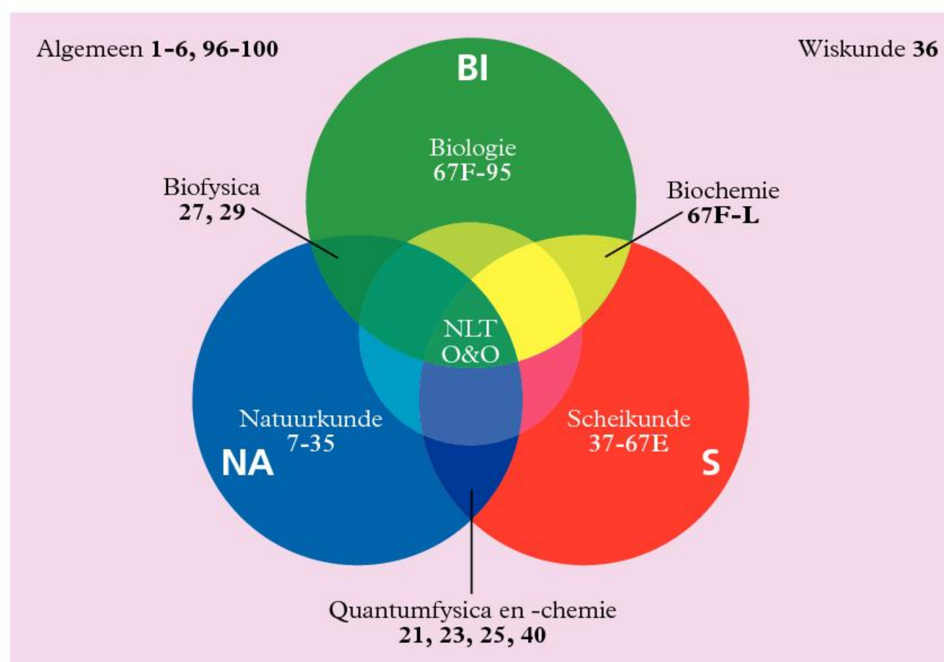
0 / 22

ISBN 9789001007249

voorwoord

Voor je ligt de zevende druk van *Binas*, een informatieboek voor onderwijs in de natuurwetenschappen. Deze uitgave kan gebruikt worden in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs bij de vakken natuurkunde, scheikunde, biologie, algemene natuurwetenschappen, natuur, leven en technologie en onderzoeken en ontwerpen. Het gebruik is vanaf 2025 voor havo en vanaf 2026 voor vwo toegestaan bij centrale examens natuurkunde, scheikunde en biologie havo en vwo.

Bij de herziening is de opzet van de zesde druk zo weinig mogelijk aangetast. De indeling en nummering van de tabellen is zo veel mogelijk gehandhaafd. In overeenstemming met de huidige stand van de wetenschap en met de actuele eindexamenprogramma's zijn (gedeelten van) tabellen verbeterd, vervallen of toegevoegd. Daarnaast heeft de redactie tot uitdrukking willen brengen dat de natuurwetenschappelijke monovakken zich steeds meer in samenhang ontwikkelen en onderwezen worden. In onderstaand venndiagram zie je welke tabellen in monovakken, dan wel in overlapgebieden thuishoren. De basiskleuren blauw, rood en groen zijn bij de tabellen nog steeds voor de monovakken natuurkunde, scheikunde en biologie gehanteerd. Bij tabellen in de overlap komt het venndiagram in miniatuur terug.



De redactie van de zevende druk heeft haar werk gebaseerd op eerdere uitgaven van *Binas*, die tot stand zijn gebracht door drs. J.H.M. Beerens, drs. G.A.M. Hafkenscheid, drs. A.I. Jansen, A. de Lange, drs. C.W. Stam, drs. W. Kranendonk, drs. F.J. van der Puijl, drs. J.L. Sikkema, drs. P.A.M. de Groot, drs. J.J. Westra, drs. I.M. Wevers-Prijs en dr. M.J. Vogelezang. Speciale dank gaat uit naar drs. J.B. Broens, die aan de 2e tot en met 5e druk heeft meegewerkt en naar dr. G. Verkerk, die de redactiecommissie van de 1e tot en met de 5e druk heeft voorgezeten.

Op de website van *Binas* www.binas.noordhoff.nl tref je meer informatie aan.
Via deze website kun je ook opmerkingen omtrent deze uitgave naar de redactiecommissie sturen.

De redactiecommissie

Inhoud

Algemeen

Natuurkunde

Wiskunde

Scheikunde

Biologie

Algemeen

1 Grieks alfabet

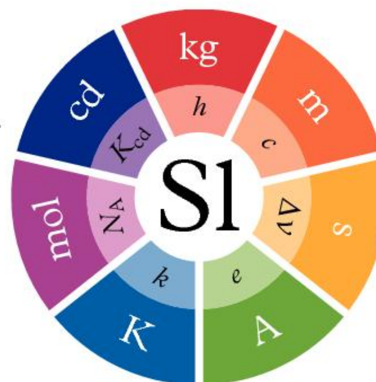
naam	*groot*	*klein*	*naam*	*groot*	*klein*	*naam*	*groot*	*klein*
alfa	Α	α	iota	Ι	ι	rho	Ρ	ρ
bèta	Β	β	kappa	Κ	κ	sigma	Σ	σ, ς
gamma	Γ	γ	labda	Λ	λ	tau	Τ	τ
delta	Δ	δ	mu	Μ	μ	upsilon	Υ	υ
epsilon	Ε	ε	nu	Ν	ν	fi	Φ	φ
zeta	Ζ	ζ	xi	Ξ	ξ	chi	Χ	χ
eta	Η	η	omikron	Ο	ο	psi	Ψ	ψ
theta	Θ	ϑ, θ	pi	Π	π	omega	Ω	ω

2 Vermenigvuldigingsfactoren

factor	*factor*	*naam*	*symbool*	*Nederlandse naam*
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000	10^{30}	quecca	Q	quintiljoen ▶
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000	10^{27}	ronna	R	quadriljard
1 000 000 000 000 000 000 000 000	10^{24}	yotta	Y	quadriljoen ▶
1 000 000 000 000 000 000 000	10^{21}	zetta	Z	triljard
1 000 000 000 000 000 000	10^{18}	exa	E	triljoen ▶
1 000 000 000 000 000	10^{15}	peta	P	biljard
1 000 000 000 000	10^{12}	tera	T	biljoen ▶
1 000 000 000	10^{9}	giga	G	miljard
1 000 000	10^{6}	mega	M	miljoen
1 000	10^{3}	kilo	k	duizend
100	10^{2}	hecto	h	honderd
10	10	deca	da	tien
1	1	-	-	een
0,1	10^{-1}	deci	d	tiende
0,01	10^{-2}	centi	c	honderdste
0,001	10^{-3}	milli	m	duizendste
0,000 001	10^{-6}	micro	μ	miljoenste
0,000 000 001	10^{-9}	nano	n	miljardste
0,000 000 000 001	10^{-12}	pico	p	biljoenste ▶
0,000 000 000 000 001	10^{-15}	femto	f	biljardste
0,000 000 000 000 000 001	10^{-18}	atto	a	triljoenste ▶
0,000 000 000 000 000 000 001	10^{-21}	zepto	z	triljardste
0,000 000 000 000 000 000 000 001	10^{-24}	yocto	y	quadriljoenste ▶
0,000 000 000 000 000 000 000 000 001	10^{-27}	ronto	r	quadriljardste
0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 001	10^{-30}	quecto	q	quintiljoenste ▶

▶ In Amerikaanse literatuur betekent het woord 'billion' 10^{9}, 'trillion' 10^{12}, 'quadrillion' 10^{15} enz.

De SI-eenheden zijn opnieuw gedefinieerd met ingang van 20 mei 2019.
Er wordt uitgegaan van vaste waarden van de zeven natuurconstanten
h, c, $\Delta\nu$, e, k_B, N_A, en K_{cd}.
De meeteenheden kg, m, s, A, K, mol en cd zijn daar een numeriek veelvoud van.



basisgrootheden		*grondeenheden*	
massa	m	kilogram	kg

Het kilogram wordt gedefinieerd door: $1\ \text{kg} \equiv 1\ \text{J s}^2\ \text{m}^{-2}$ ▸

lengte	l	meter	m

De meter wordt gedefinieerd door: $1\ \text{m} \equiv \frac{1}{2{,}997\,924\,58 \cdot 10^8} \cdot c\ \text{s}$
Hierin is c de lichtsnelheid.

tijd	t	seconde	s

De seconde wordt gedefinieerd door: $1\ \text{s} \equiv 9\,192\,631\,770 \cdot \frac{1}{\Delta\nu}$

Hierin is $\Delta\nu$ de frequentie van de straling ontstaan bij de overgang tussen de twee hyperfijnniveaus van de grondtoestand van het atoom cesium-133 (13e CGPM-1967, Rés. 1).

stroomsterkte	I	ampère	A

De ampère wordt gedefinieerd door: $1\ \text{A} \equiv \frac{1}{1{,}602\,176\,634 \cdot 10^{-19}} \cdot e\ \text{s}^{-1}$
Hierin is e het elementair ladingsquantum.

temperatuur	T	kelvin	K

De kelvin wordt gedefinieerd door: $1\ \text{K} \equiv 1{,}380\,649 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{1}{k_B}\ \text{J}$ ▸
Hierin is k_B de constante van Boltzmann.

hoeveelheid stof	n	mol	mol

De mol wordt gedefinieerd door: $1\ \text{mol} \equiv 6{,}022\,140\,76 \cdot 10^{23} \cdot \frac{1}{N_A}$
Hierin is N_A de constante van Avogadro.

lichtsterkte	I	candela	cd

De candela wordt gedefinieerd door: $1\ \text{cd} \equiv \frac{K_{cd}}{683}\ \text{J s}^{-1}\ \text{sr}^{-1}$ ▸
De candela is de lichtsterkte in een gegeven richting, van een bron die monochromatische straling met een frequentie van $540 \cdot 10^{12}$ Hz uitzendt en waarvan de stralingssterkte in die richting $\frac{1}{683}$ J s^{-1} sr^{-1} is.

aanvullende grootheden en eenheden

vlakke hoek	α	radiaal	rad

De radiaal is de hoek tussen twee stralen van een cirkel die op de omtrek een boog afsnijden waarvan de lengte gelijk is aan de straal.

ruimtehoek	Ω	steradiaal	sr

De steradiaal is de ruimtehoek die, wanneer zijn top samenvalt met het middelpunt van een bol, op die bol een oppervlakte uitsnijdt gelijk aan die van een vierkant met de straal van die bol als zijde.

▶ Hierin is gebruik gemaakt van onderstaande tussenberekening.
De joule, die zelf geen grondeenheid is, wordt gedefinieerd door: $1\ \text{J} \equiv \frac{1}{6{,}626\,070\,15 \cdot 10^{-34}} \cdot h\ \text{s}^{-1}$
Hierin is h de constante van Planck.

4 Grootheden en eenheden in het SI

grootheid	*symbool*	*eenheid*	*symbool*
aantal neutronen (in de kern)	N	–	–
aantal nucleonen	A	–	–
aantal protonen (in de kern)	Z	–	–
aantal windingen (spoel)	N	–	–
activiteit (radioactiviteit)	A	becquerel	$\text{Bq} = \text{s}^{-1}$
afstand	$l, a, b, \Delta x, s$	meter	m
amplitudo	A, r	meter	m
arbeid	W	joule	J = N m
arm	r	meter	m
atoommassa (relatieve)	A_r	atomaire massa-eenheid	u
atoomnummer	Z	–	–
beeldafstand	b	meter	m
beeldgrootte	B, BB´	meter	m
brandpuntsafstand	f	meter	m
brekingsindex	n	–	–
bronspanning	U_{bron}	volt	$\text{V} = \text{J C}^{-1}$
capaciteit accu, batterij	It	ampèreseconde, ampèreuur	As (= C), Ah
capaciteit condensator	C	farad	$\text{F} = \text{CV}^{-1}$
concentratie	c	mol per kubieke meter	mol m^{-3}
debiet, volumestroom	Q	kubieke meter per seconde	$\text{m}^3\,\text{s}^{-1}$
dempingscoëfficiënt	δ	per meter	m^{-1}
diameter	d	meter	m
dichtheid	ρ	kilogram per kubieke meter	kg m^{-3}
diëlektrische constante (permittiviteit)	ε	farad per meter	F m^{-1}
doorsnede	A	vierkante meter	m^2
dosis geabsorbeerde ioniserende straling	D	gray	$\text{Gy} = \text{J kg}^{-1}$
dosisequivalent, dosislimiet	H	sievert	$\text{Sv} = \text{J kg}^{-1}$
dosisequivalenttempo	$\dot{H}$	sievert per seconde	Sv s^{-1}
dosistempo	$\dot{D}$	gray per seconde	Gy s^{-1}
druk	p	pascal	$\text{Pa} = \text{N m}^{-2}$
elasticiteitsmodulus	E	newton per vierkante meter	N m^{-2}
elektrisch dipoolmoment	p	coulomb meter	C m
elektrische lading	q, Q	coulomb	C = A s
elektrische potentiaal	V	volt	$\text{V} = \text{J C}^{-1}$
elektrische spanning	$U, \Delta V$	volt	$\text{V} = \text{J C}^{-1}$
elektrische stroomsterkte	I	ampère	$\text{A} = \text{C s}^{-1}$
elektrische veldsterkte	E, $\mathcal{E}$	newton per coulomb	$\text{N C}^{-1} = \text{V m}^{-1}$
elektrochemisch equivalent	A	kilogram per coulomb	$\text{kg C}^{-1} = \text{kg A}^{-1}\,\text{s}^{-1}$
energie	E	joule	J = N m
enthalpie	H	joule	J = N m
entropie	S	joule per kelvin	J K^{-1}
fase	φ	–	–
frequentie	f, ν	hertz	$\text{Hz} = \text{s}^{-1}$
geleiding, geleidbaarheid (elektrisch)	G	siemens	$\text{S} = \Omega^{-1}$
geluiddrukniveau	L_p	(deci)bel	(d)B
geluidintensiteitsniveau	L_I	(deci)bel	(d)B
gewicht	G, F_{gew}	newton	N
golflengte	λ	meter	m
gravitatieversnelling	g	meter per secondekwadraat	m s^{-2}
grenshoek	g	graad	°
halveringsdikte	$d_{1/2}$	meter	m
halveringstijd	$t_{1/2}, \tau$	seconde	s
hoek (ruimte-)	Ω	steradiaal	sr
hoek (vlakke)	$\alpha, \beta, \ldots, \varphi, \ldots$	radiaal, graad	rad

vervolg ▶

grootheid	*symbool*	*eenheid*	*symbool*
hoeksnelheid	ω	radiaal per seconde	rad s^{-1}
hoekversnelling	α	radiaal per secondekwadraat	rad s^{-2}
hoeveelheid beweging	p	kilogram meter per seconde	kg m s^{-1}
hoeveelheid stof	n	mol	mol
impedantie	Z	ohm	Ω
impuls	p	kilogram meter per seconde	kg m s^{-1}
impulsmoment	b, L	kilogram meterkwadraat per seconde	kg m^2 s^{-1}
inhoud	V	kubieke meter	m^3
intensiteit (deeltjesbundel)	I	per seconde per vierkante meter	s^{-1} m^{-2}
intensiteit (geluid-, licht-)	I	watt per vierkante meter	W m^{-2}
koppel	T	newton meter	N m
kracht	F	newton	N = kg m s^{-2}
krachtstoot	S	newton seconde	N s = kg m s^{-1}
kubieke uitzettingscoëfficiënt	γ	per kelvin	K^{-1}
lading	q, Q	coulomb	C = A s
ladingsdichtheid (vlak)	σ	coulomb per vierkante meter	C m^{-2}
lengte	l	meter	m
lenssterkte	S	dioptrie	dpt = m^{-1}
lichtsterkte	I	candela	cd
lichtstroom	Φ	lumen	lm = cd sr
lineaire uitzettingscoëfficiënt	α	per kelvin	K^{-1}
lineïeke massa van textielvezels en garens	ρ_l	kilogram per meter	kg m^{-1}
luchtweerstandscoëfficiënt	C_w	–	–
luminantie (oppervlaktehelderheid)	B, L	candela per vierkante meter	nit = cd m^{-2}
magnetisatie	M	ampère per meter	A m^{-1}
magnetische flux	Φ	weber	Wb = V s
magnetische veldsterkte (fluxdichtheid)	B	tesla	T = Wb m^{-2}
magnetische permeabiliteit	μ	henry per meter	H m^{-1}
massa	m	kilogram	kg
massagetal	A	–	–
molair(e) …	–	per mol	mol^{-1}
moment (koppel)	T	newton meter	N m
moment (kracht)	M	newton meter	N m
numerieke apertuur	A	–	–
nuttig effect	η	–, procent	–, %
nuttig effect (lichtrendement)	η_L	lumen per watt	lm W^{-1}
omloopfrequentie	f	hertz	Hz = s^{-1}
omlooptijd	T	seconde	s
oppervlakte	A	vierkante meter	m^2
oppervlaktespanning	σ	newton per meter	N m^{-1}
periode (tijd)	T	seconde	s
plaats	x	meter	m
potentiaal, potentiaalverschil	$V, \Delta V$	volt	V = J C^{-1}
radioactiviteit	A	becquerel	Bq = s^{-1}
rendement	η	–	–
restitutiecoëfficiënt	ε	–	–
rotatiesnelheid	ω	radiaal per seconde	rad s^{-1}
ruimtehoek	Ω	steradiaal	sr
schuifspanning	σ	newton per vierkante meter	N m^{-2}
snelheid	v	meter per seconde	m s^{-1}
schuifwrijvingscoëfficiënt	μ, f	–	–
soortelijke warmte	c	joule per kilogram kelvin	J kg^{-1} K^{-1}
soortelijke warmte bij constant volume	c_V	joule per kilogram kelvin	J kg^{-1} K^{-1}
	C_V	joule per mol kelvin	J mol^{-1} K^{-1}

vervolg ▶

grootheid	*symbool*	*eenheid*	*symbool*
soortelijke warmte bij constante druk	c_p	joule per kilogram kelvin	$\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$
	C_p	joule per mol kelvin	$\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$
soortelijke weerstand	ρ	ohm meter	Ω m
spanning (elektrische)	U	volt	$\mathrm{V = J\,C^{-1}}$
spanning (mechanische)	σ	newton per vierkante meter	$\mathrm{N\,m^{-2}}$
sterkte van brekend oppervlak, lens	S	dioptrie	$\mathrm{dpt = m^{-1}}$
stookwaarde	r_m	joule per kilogram of	$\mathrm{J\,kg^{-1}}$
	r_V	joule per kubieke meter	$\mathrm{J\,m^{-3}}$
stoot	S	newton seconde	$\mathrm{N\,s = kg\,m\,s^{-1}}$
straal	r, R	meter	m
stralingsweegfactor	w_R	sievert per gray	$\mathrm{Sv\,Gy^{-1}}$
stroomdichtheid	J	ampère per vierkante meter	$\mathrm{A\,m^{-2}}$
stroomsterkte	I	ampère	A
temperatuur	T	kelvin	K
tijd	t	seconde	s
tijdconstante	τ	seconde	s
torsieconstante	κ	newton meter per radiaal	$\mathrm{N\,m\,rad^{-1}}$
traagheidsmoment (massa-)	I, J	kilogram meterkwadraat	$\mathrm{kg\,m^2}$
tralieconstante	d	meter	m
treksterkte	σ	newton per vierkante meter	$\mathrm{N\,m^{-2}}$
trillingstijd	T	seconde	s
uitwijking, uitrekking	u	meter	m
veerconstante	C	newton per meter	$\mathrm{N\,m^{-1}}$
vergroting (lineaire)	N	–	–
verlichtingssterkte	E	lux	$\mathrm{lx = lm\,m^{-2}}$
vermogen	P	watt	$\mathrm{W = J\,s^{-1}}$
verplaatsing	$\Delta x, s$	meter	m
versnelling	a	meter per secondekwadraat	$\mathrm{m\,s^{-2}}$
vervalconstante (radioactief)	λ	per seconde	$\mathrm{s^{-1}}$
verzwakkingscoëfficiënt	α, μ	per meter	$\mathrm{m^{-1}}$
viscositeit (dynamisch)	η	newton seconde per vierkante meter	$\mathrm{N\,s\,m^{-2}}$
viscositeit (kinematisch)	ν	meterkwadraat per seconde	$\mathrm{m^2\,s^{-1}}$
volume	V	kubieke meter	$\mathrm{m^3}$
volumestroom	Q	kubieke meter per seconde	$\mathrm{m^3\,s^{-1}}$
voortplantingssnelheid van geluid	v_g	meter per seconde	$\mathrm{m\,s^{-1}}$
voortplantingssnelheid van licht	c	meter per seconde	$\mathrm{m\,s^{-1}}$
voorwerpsafstand	v	meter	m
voorwerpsgrootte	V, VV′	meter	m
vrije energie	F	joule	J
vrije enthalpie	G	joule	J
waarschijnlijkheid	W, P	–	–
warmte (hoeveelheid)	Q	joule	J
warmtecapaciteit	C	joule per kelvin	$\mathrm{J\,K^{-1}}$
warmtedoorgangscoëfficiënt	μ, U	watt per vierkante meter kelvin	$\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}}$
warmtegeleidingscoëfficiënt	λ, k	watt per meter kelvin	$\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$
warmteoverdrachtscoëfficiënt	$\alpha, \alpha_e, \alpha_i$	watt per vierkante meter kelvin	$\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}}$
warmtestroom	Φ, P	watt	W
warmtestroomdichtheid	q	watt per vierkante meter	$\mathrm{W\,m^{-2}}$
wederzijdse inductie	M	henry	$\mathrm{H = J\,A^{-2}}$
weegfactor radioactieve straling	w_R	sievert per gray	$\mathrm{Sv\,Gy^{-1}}$
weerstand	R	ohm	$\Omega = \mathrm{V\,A^{-1}}$
weerstandstemperatuurcoëfficiënt	α	per kelvin	$\mathrm{K^{-1}}$
wrijvingscoëfficiënt (schuiven)	μ, f	–	–
zelfinductie	L	henry	$\mathrm{H = J\,A^{-2}}$

eenheid	*symbool en omrekeningsfactor*	*grootheid*	*status* ►
are	$a = 10^2\ m^2$	oppervlakte (van grond)	b
astronomische eenheid	au = 149 597 870 700 m	afstand	b
atmosfeer	$atm = 1{,}013\,25 \cdot 10^5$ Pa	druk	v
atomaire massa-eenheid	$u = 1{,}660\,539\,066\,60 \cdot 10^{-27}$ kg	massa	b
bar	$bar = 10^5$ Pa	druk	b
barn	$b = 10^{-28}\ m^2$	werkzame doorsnede	b
calorie	cal = 4,184 J	energie	v
centimeter kwikdruk	$cm\ Hg = 1{,}333\,22 \cdot 10^3$ Pa	druk	v
centimeter waterdruk	$cm\ H_2O = 9{,}806\,65 \cdot 10^1$ Pa	druk	v
curie	$Ci = 3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq	(radio-)activiteit	v
dag	d = 86 400 s	tijd	b
dalton	$u = 1{,}660\,539\,066\,60 \cdot 10^{-27}$ kg	massa	v
decibel	$dB = 10^{-1}$, B	geluidniveau	b
denier	$Td = 1{,}111 \cdot 10^{-7}\ kg\ m^{-1}$	massa per lengte-eenheid	v
Duitse hardheidsgraad	D° ≙ 10 mg CaO per liter	waterhardheid	v
elektronvolt (energie)	$eV = 1{,}602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ J	energie	b
elektronvolt (temperatuur)	$eV = 1{,}160\,451\,81 \cdot 10^4\ k_B$ K	temperatuur	b
foon	Ph = dB (bij 1000 Hz)	geluidniveau	b
foot	$ft, vt = 3{,}048 \cdot 10^{-1}$ m (= 12 in)	lengte of afstand	v
gallon (US)	$3{,}785\,411\,784 \cdot 10^{-3}\ m^{-3}$	volume of inhoud	v
gauss	$G = 10^{-4}$ T	magnetische inductie	v
gon (decimale graad)	gon (gra); gon = $\frac{\pi}{200}$ rad	vlakke hoek	b
graad (hoek)	° (deg); ° = $\frac{\pi}{180}$ rad	vlakke hoek	b
graad Celsius	°C = K	temperatuurverschil	b
graad Fahrenheit	$°F = 5{,}556 \cdot 10^{-1}$ K	temperatuurverschil	v
inch	$in = 2{,}54 \cdot 10^{-2}$ m (= $\frac{1}{12}$ft)	lengte of afstand	v
jaar	$y = 3{,}15 \cdot 10^7$ s	tijd	b
karaat of metriekkaraat	$Kt\ (ct) = 2 \cdot 10^{-4}$ kg	massa bij parels en edelstenen	b
	kt = $\frac{1}{24}$e deel	goudgehalte	
kilowattuur	$kWh = 3{,}6 \cdot 10^6$ J	energie	b
knoop	$0{,}514\,44\ m\ s^{-1}$	snelheid	v
lichtjaar	$9{,}461 \cdot 10^{15}$ m	lengte of afstand	v
liter	$L = 10^{-3}\ m^3$	volume of inhoud	b
micron	$\mu = 10^{-6}$ m	lengte of afstand	v
mijl (land)	$1{,}609\,344 \cdot 10^3$ m (exact)	lengte of afstand	v
mijl (zee)	$1{,}852 \cdot 10^3$ m (exact)	lengte of afstand	v
millimeter kwik	$mm\ Hg = 1{,}333\,22 \cdot 10^2$ Pa	(fysiologische) druk	b
minuut (hoek)	' = $\frac{\pi}{10\,800}$ rad	vlakke hoek	b
minuut (tijd)	min = 60 s	tijd	b
ons	10^{-1} kg	massa	v
paardenkracht (hp)	$pk = 7{,}457 \cdot 10^2$ W	(motor-)vermogen	v
paardenkracht (CV)	$pk = 7{,}354\,99 \cdot 10^2$ W	(motor-)vermogen	v
parsec	$pc = 3{,}085\,68 \cdot 10^{16}$ m	lengte of afstand	v
pascal	$Pa = Nm^{-2}$	druk	b
pond	$5 \cdot 10^{-1}$ kg	massa	v
pound (avdp)	$lb = 4{,}535\,923\,7 \cdot 10^{-1}$ kg	massa	v
pound per square inch	psi (= $lbf\ in^{-2}$) = $6{,}89 \cdot 10^3$ Pa	druk	v
rad	$rad = 10^{-2}$ Gy	dosis radioactieve straling	v
rem	$rem = 10^{-2}$ Sv	dosisequivalent	v
rpm, omwentelingen per minuut	$rpm = 1{,}047\,2 \cdot 10^{-1}\ rad\ s^{-1}$	hoeksnelheid, toerental	v
rutherford	$Rd = 10^6$ Bq	(radio-)activiteit	v
seconde (hoek)	" = $\frac{\pi}{648\,000}$ rad	vlakke hoek	b
tex	$tex = 10^{-6}\ kg\ m^{-1}$	massa per lengte-eenheid	b
ton	$t = 10^3$ kg	massa	b
torr (mm kwikdruk)	$Torr = 1{,}333\,22 \cdot 10^2$ Pa	druk	v
uur	h = 3600 s	tijd	b
var	var = W	vermogen (reactief)	b
voet	$ft = 3{,}048 \cdot 10^{-1}$ m (= 12 in, exact)	lengte of afstand	v
voltampère	VA = W	vermogen (schijnbaar)	b
yard	$yd = 9{,}144 \cdot 10^{-1}$ m (= 3 ft, exact)	lengte of afstand	v

► b = blijvend erkende eenheid; v = verboden eenheid

6 Machten van tien

A Massa

massa (soms gemiddelde, rust-) in kg

$< 10^{-37}$	neutrino
$9,1 \cdot 10^{-31}$	elektron
$1,7 \cdot 10^{-27}$	neutron, proton, waterstofatoom, u
$2,0 \cdot 10^{-26}$	koolstofatoom
$3,3 \cdot 10^{-25}$	goudatoom
$3 \cdot 10^{-22}$	zetmeelmolecuul
$9,5 \cdot 10^{-21}$	kleinste virus
$9 \cdot 10^{-14}$	rode bloedcel
10^{-13}	bacterie
10^{-11}	cel menselijk lichaam
$2,2 \cdot 10^{-8}$	planckmassa
$7,5 \cdot 10^{-7}$	fruitvliegje
$2 \cdot 10^{-6}$	regendruppel
$1,5 \cdot 10^{-4}$	huisvlieg
$2,5 \cdot 10^{-3}$	kolibrie
$3,5 \cdot 10^{-2}$	huismus
$1,1 \cdot 10^{-1}$	merel
$1,5 \cdot 10^{0}$	kip, fazant
$7,0 \cdot 10^{1}$	mens
$1,8 \cdot 10^{2}$	edelhert, leeuw, zeeleeuw
$7,0 \cdot 10^{2}$	auto
$3,5 \cdot 10^{3}$	(Indische) olifant
$1 \cdot 10^{5}$	treinstel (sprinter SGM-0)
$1,4 \cdot 10^{5}$	vliegtuig (Boeing 747-400)
$1,5 \cdot 10^{5}$	blauwe vinvis
$7 \cdot 10^{7}$	groot passagiersschip
$5 \cdot 10^{15}$	biomassa
$5 \cdot 10^{18}$	atmosfeer van de aarde
$1,5 \cdot 10^{21}$	water op aarde
$7,4 \cdot 10^{22}$	maan
$3,2 \cdot 10^{23}$	Mercurius
$6,0 \cdot 10^{24}$	aarde
$8,7 \cdot 10^{25}$	Uranus
$1,0 \cdot 10^{26}$	Neptunus
$1,9 \cdot 10^{27}$	Jupiter
$2 \cdot 10^{29}$	Proxima Centauri
$2,0 \cdot 10^{30}$	zon
$4,6 \cdot 10^{31}$	Rigel
$3 \cdot 10^{39}$	Kleine Magellaanse Wolk
$2 \cdot 10^{40}$	Grote Magellaanse Wolk
$4 \cdot 10^{41}$	Melkwegstelsel
$6 \cdot 10^{41}$	Andromedanevel
10^{53}	heelal

B Tijd

tijd (soms … geleden, leeftijd) in s

$5,4 \cdot 10^{-44}$	plancktijd
tot 10^{-43}	na oerknal, quantumeffecten domineren
tot 10^{-35}	na oerknal, unificerende theorie, daarna inflatie
10^{-24} - 10^{-20}	periode gammastraling
10^{-20} - 10^{-17}	periode röntgenstraling
10^{-16}	periode ultraviolet
$2 \cdot 10^{-15}$	periode zichtbaar licht
10^{-14} - 10^{-12}	periode infrarood
$8 \cdot 10^{-11}$	gem. levensduur positief sigmadeeltje
10^{-10}	periode radiogolven (SHF)
$2,6 \cdot 10^{-8}$	gemiddelde levensduur positief pion
$5 \cdot 10^{-5}$	periode hoogst hoorbare toon
10^{-4}	periode radiogolven (VLF)
$2 \cdot 10^{-3}$	periode geluid (stem)
$3 \cdot 10^{-3}$	periode vleugelslag mug
$2,0 \cdot 10^{-2}$	periode netspanning
$9 \cdot 10^{-1}$	periode hartslag mens
$2 \cdot 10^{0}$	periode slinger (lengte 1,0 m)
$6,0 \cdot 10^{1}$	minuut
$5,0 \cdot 10^{2}$	reistijd licht zon-aarde
$3,6 \cdot 10^{3}$	uur
$8,6 \cdot 10^{4}$	rotatieperiode aarde, dag
$6,9 \cdot 10^{5}$	halveringstijd ^{131}I
$1,8 \cdot 10^{6}$	draagtijd huismuis
$2,4 \cdot 10^{6}$	omwentelingsperiode maan
$2,4 \cdot 10^{7}$	draagtijd mens
$3,2 \cdot 10^{7}$	omwentelingsperiode aarde, jaar
$1,4 \cdot 10^{8}$	reistijd licht vanaf dichtstbijzijnde ster
$5,7 \cdot 10^{8}$	maximale levensduur hond
$2,4 \cdot 10^{9}$	periode komeet van Halley
$3,3 \cdot 10^{9}$	maximale levensduur mens
$1,3 \cdot 10^{10}$	Leidse universiteit
$1,6 \cdot 10^{11}$	eerste (Sumerische) geschriften
$1,8 \cdot 10^{11}$	halveringstijd ^{14}C
$3 \cdot 10^{12}$	Homo sapiens
$5 \cdot 10^{13}$	Homo erectus
$8 \cdot 10^{13}$	Homo habilis
$4 \cdot 10^{14}$	ontwikkeling zoogdieren, apen
$7,1 \cdot 10^{15}$	begin Mesozoïcum
$1,4 \cdot 10^{16}$	fossielen
$1,2 \cdot 10^{17}$	oudste fossielen, micro-organismen
$1,5 \cdot 10^{17}$	aarde
$4,3 \cdot 10^{17}$	heelal

■ Lengte: zie tabel 100.

Temperatuur C

temperatuur in K

10^{-7}	laagst bereikte in verdunde gassen (Bose-Einstein)
10^{-5}	laagst bereikte in vaste stof
10^{-3}	^{3}He superfluïde
$1{,}5 \cdot 10^{-2}$	sprongpunt supergeleiding wolfraam
$8{,}7 \cdot 10^{-1}$	sprongpunt supergeleiding zink
$2{,}2 \cdot 10^{0}$	^{4}He superfluïde
$2{,}7 \cdot 10^{0}$	heelal
$4{,}2 \cdot 10^{0}$	kookpunt He
$5{,}2 \cdot 10^{0}$	kritieke temperatuur He
$1{,}4 \cdot 10^{1}$	smeltpunt waterstof
$2{,}0 \cdot 10^{1}$	kookpunt waterstof
$2{,}3 \cdot 10^{1}$	sprongpunt supergeleiding Nb_3Ge
$3{,}3 \cdot 10^{1}$	kritieke temperatuur waterstof
$5{,}3 \cdot 10^{1}$	gem. oppervlaktetemperatuur Pluto
$7{,}7 \cdot 10^{1}$	kookpunt stikstof
$9{,}0 \cdot 10^{1}$	kookpunt zuurstof, sprongpunt supergeleiding $YBa_2Cu_3O_{7-x}$
$1{,}5 \cdot 10^{2}$	kritieke temperatuur zuurstof
$2{,}7 \cdot 10^{2}$	vriespunt water
$3{,}0 \cdot 10^{2}$	gemiddelde oppervlaktetemperatuur aarde
$3{,}1 \cdot 10^{2}$	lichaamstemperatuur mens
$3{,}7 \cdot 10^{2}$	kookpunt water
$6{,}0 \cdot 10^{2}$	smeltpunt lood
$8{,}6 \cdot 10^{2}$	curiepunt magnetiet (Fe_3O_4)
$9{,}3 \cdot 10^{2}$	smeltpunt aluminium
$1{,}3 \cdot 10^{3}$	smeltpunt goud
$3{,}1 \cdot 10^{3}$	kookpunt goud
$3{,}3 \cdot 10^{3}$	effectieve temperatuur Betelgeuze
$3{,}7 \cdot 10^{3}$	smeltpunt wolfraam
$4 \cdot 10^{3}$	middelpunt aarde
$5{,}8 \cdot 10^{3}$	effectieve temperatuur zon
$1{,}2 \cdot 10^{4}$	elektronentemperatuur in TL-buis
$1{,}3 \cdot 10^{4}$	effectieve temperatuur Rigel A
10^{5}	lasercutting
10^{6}	tokamakplasma
$1{,}4 \cdot 10^{7}$	middelpunt zon
10^{8}	centrum H-bom
10^{9}	heetste ster
10^{10}	spontane vorming elektronen
10^{13}	spontane vorming protonen en neutronen

Energie D

energie in J

$3 \cdot 10^{-31}$	kin. en. van molecuul bij allerlaagst bereikte temperatuur ($1{,}5 \cdot 10^{-8}$ K)
$4{,}4 \cdot 10^{-21}$	kin. en. molecuul (20 °C)
$1 \cdot 10^{-20}$	chemische reactie van 1 atoom
$4 \cdot 10^{-19}$	foton van groen licht
$2{,}2 \cdot 10^{-18}$	binding waterstofatoom in H_2
$8 \cdot 10^{-14}$	massa-equivalent van het elektron
$4{,}6 \cdot 10^{-12}$	bindingsenergie ^{4}He-kern
$3{,}2 \cdot 10^{-11}$	splijtingsenergie van een ^{235}U-atoom
$1{,}5 \cdot 10^{-10}$	massa-equivalent neutron of proton
$2{,}7 \cdot 10^{-8}$	kin. en. wijngaardslak (4,8 m h^{-1})
$1{,}6 \cdot 10^{-7}$	kin. en. van een vliegende mug
$2{,}2 \cdot 10^{-6}$	proton Large Hadron Collider (CERN)
$1 \cdot 10^{0}$	wrijvingsloos 102 gram 1,00 m optillen
$1{,}5 \cdot 10^{2}$	kin. en. snelst geserveerde tennisbal
$1{,}4 \cdot 10^{3}$	zonnestraling op aarde op 1 m^2 in 1 s
$4{,}2 \cdot 10^{3}$	1 kg water 1 °C opwarmen
$1{,}7 \cdot 10^{4}$	metabolisme: opbrengst 1 gram suiker
$3{,}3 \cdot 10^{4}$	verbruikte energie 1 minuut fietsen
$3{,}33 \cdot 10^{5}$	1 kg ijs smelten
$3{,}9 \cdot 10^{5}$	kin. en. auto (1000 kg) bij 100 km h^{-1}
$2{,}26 \cdot 10^{6}$	1 liter kokend water verdampen
$3{,}6 \cdot 10^{6}$	energieverlies in een dag door een ruit van 1 m^2 (20 °C verschil)
$1{,}8 \cdot 10^{7}$	1 kg hout verbranden
$3{,}5 \cdot 10^{7}$	1 liter benzine verbranden
$6 \cdot 10^{8}$	kernfusie van 1 mg deuterium
$1 \cdot 10^{9}$	bliksem
$2{,}6 \cdot 10^{9}$	kin. en. vliegtuig (Airbus 320)
$4{,}2 \cdot 10^{9}$	explosie-energie van 1 ton TNT
$1{,}3 \cdot 10^{10}$	verlies per jaar door een ruit van 1 m^2 (20 °C verschil)
$7 \cdot 10^{10}$	jaarverbruik auto (USA, 2000)
$6 \cdot 10^{13}$	kernbom op Hiroshima
$1 \cdot 10^{16}$	Meteor Crater-inslag (Arizona)
$1 \cdot 10^{17}$	vulkaanuitbasting Krakatau (1883)
$5 \cdot 10^{17}$	waterstofbom (100 megaton TNT)
$1{,}3 \cdot 10^{19}$	totale elektrische energie geproduceerd in de USA in 2001
$1{,}3 \cdot 10^{20}$	aardbeving in de Indische Oceaan (2004)
$4 \cdot 10^{20}$	wereldverbruik fossiele energie (2004)
$7 \cdot 10^{21}$	wereld-aardolievoorraad (2003)
$2{,}6 \cdot 10^{22}$	wereld-steenkoolvoorraad (2003)
$3{,}9 \cdot 10^{26}$	door de zon uitgezonden in 1 s
$3 \cdot 10^{31}$	wereldvoorraad in ^{238}U (2003)
$2{,}7 \cdot 10^{33}$	kin. en. van de aarde (baan om de zon)
$1 \cdot 10^{43}$	explosie van een supernova
$4 \cdot 10^{58}$	massa-equivalent van de hele Melkweg

7 Waarden van enige constanten

A Natuurconstanten

symbool	naam	waarde		meetwaarde of definitie	exact of afgerond	
G	gravitatieconstante	$6{,}674\,30 \cdot 10^{-11}$	$\mathrm{N\,m^2\,kg^{-2}}$	m	a	
g	valversnelling (gemiddeld in Nederland)	$9{,}81$	$\mathrm{m\,s^{-2}}$	m	a	
p_0	standaarddruk	$1{,}013\,25 \cdot 10^{5}$	Pa	d	e	
V_m	molair volume					
	• (ideaal gas bij $T = 273{,}15$ K en $p = p_0$)	$2{,}241\,396\,854\,501 \cdot 10^{-2}$	$\mathrm{m^3\,mol^{-1}}$	d	a	
	• (gasvormige stof bij $T = 298$ K en $p = p_0$)	$2{,}445 \cdot 10^{-2}$	$\mathrm{m^3\,mol^{-1}}$	d	a	
0 °C	smeltpunt van ijs ($p = p_0$)	$273{,}15$	K	m	a	
N_A	constante van Avogadro	$6{,}022\,140\,76 \cdot 10^{23}$	$\mathrm{mol^{-1}}$	d	e	
R	gasconstante	$8{,}314\,462\,618\,153\,24$	$\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$	d	e	$R \equiv k_\mathrm{B} \cdot N_\mathrm{A}$
k_B	constante van Boltzmann	$1{,}380\,649 \cdot 10^{-23}$	$\mathrm{J\,K^{-1}}$	d	e	
σ	constante van Stefan-Boltzmann	$5{,}670\,374\,419 \cdot 10^{-8}$	$\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}}$	d	a	
k_W	constante van Wien	$2{,}897\,771\,955 \cdot 10^{-3}$	m K	d	e	
h	constante van Planck	$6{,}626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$	J s	d	e	
c	lichtsnelheid	$2{,}997\,924\,58 \cdot 10^{8}$	$\mathrm{m\,s^{-1}}$	d	e	
ε_0	elektrische constante (permittiviteit van vacuüm)	$8{,}854\,187\,812\,8 \cdot 10^{-12}$	$\mathrm{F\,m^{-1}}$	m	a	
f	constante in de wet van Coulomb	$8{,}987\,551\,792 \cdot 10^{9}$	$\mathrm{N\,m^2\,C^{-2}}$	m	a	$f = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$
μ_0	magnetische permeabiliteit van vacuüm	$1{,}256\,637\,062\,12 \cdot 10^{-6}$	$\mathrm{H\,m^{-1}}$	m	a	
e	elementair ladingsquantum	$1{,}602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$	C	d	e	
F	constante van Faraday	$9{,}648\,533\,212\,331 \cdot 10^{4}$	$\mathrm{C\,mol^{-1}}$	d	e	$F \equiv e \cdot N_\mathrm{A}$
a_0	atoomstraal H-atoom (volgens Bohr)	$5{,}291\,772\,109\,03 \cdot 10^{-11}$	m	m	a	
R_H	rydbergconstante voor waterstof	$1{,}096\,775\,834 \cdot 10^{7}$	$\mathrm{m^{-1}}$	m	a	
K_cd	lichtopbrengst	$6{,}83 \cdot 10^{2}$	$\mathrm{lm\,W^{-1}}$	d	e	

B Massa en energie

symbool	naam	massa			
		u	kg	MeV	J
u	atomaire massa-eenheid	1	$1{,}660\,539\,066\,60 \cdot 10^{-27}$	$931{,}494\,102\,42$	$1{,}492\,418\,085\,60 \cdot 10^{-10}$
m_p	rustmassa proton	$1{,}007\,276\,466\,621$	$1{,}672\,621\,923\,69 \cdot 10^{-27}$	$938{,}272\,088\,16$	$1{,}503\,277\,615\,98 \cdot 10^{-10}$
m_n	rustmassa neutron	$1{,}008\,664\,915\,95$	$1{,}674\,927\,498\,04 \cdot 10^{-27}$	$939{,}565\,420\,52$	$1{,}505\,349\,762\,87 \cdot 10^{-10}$
m_e	rustmassa elektron	$5{,}485\,799\,090\,65 \cdot 10^{-4}$	$9{,}109\,383\,701\,5 \cdot 10^{-31}$	$0{,}510\,998\,950\,00$	$8{,}187\,105\,776\,9 \cdot 10^{-14}$

C Planck-eenheden

grootheid	herleiding	waarde
planck-lengte	$l_\mathrm{P} = \sqrt{\dfrac{hG}{2\pi c^3}}$	$1{,}616\,255 \cdot 10^{-35}$ m
planck-massa	$m_\mathrm{P} = \sqrt{\dfrac{hc}{2\pi G}}$	$2{,}176\,434 \cdot 10^{-8}$ kg
planck-tijd	$t_\mathrm{P} = \sqrt{\dfrac{hG}{2\pi c^5}}$	$5{,}391\,247 \cdot 10^{-44}$ s
planck-temperatuur	$T_\mathrm{P} = \sqrt{\dfrac{hc^5}{2\pi G k^2}}$	$1{,}416\,784 \cdot 10^{32}$ K
magnetisch fluxquantum	$\Phi_0 = \dfrac{h}{2e}$	$2{,}067\,833\,848 \cdot 10^{-15}$ Wb
von-klitzingconstante	$R_\mathrm{K} = \dfrac{h}{e^2}$	$2{,}581\,280\,745 \cdot 10^{4}$ Ω
geleidingsquantum	$G_0 = \dfrac{2e^2}{h}$	$7{,}748\,091\,729 \cdot 10^{-5}$ S

	dichtheid	*elasticiteits-modulus*	*treksterkte (maximale mechanische spanning)*	*lineaire uitzettings-coëfficiënt*	*soortelijke warmte*	*warmte-geleidings-coëfficiënt*	*smeltpunt* $p = p_0$	*smeltwarmte*	*soortelijke weerstand*	*weerstands-temperatuur-coëfficiënt*
	T = 293 K	T = 293 K			T = 293 K	T = 293 K			T = 293 K	
	10^3 kg m^{-3}	10^9 Pa	10^8 Pa	10^{-6} K^{-1}	10^3 J kg^{-1} K^{-1}	W m^{-1} K^{-1}	K	10^6 J kg^{-1}	10^{-9} Ω m	10^{-3} K^{-1}
aluminium	2,70	71	0,4-0,5	23,2	0,88	237	933	0,397	27	4,29
beryllium	1,85	300	4,0-6,1	11,5	1,8	170	1560	1,384	33	9,0
bismut	9,80	32		13,5	0,12	9	545	0,054	1300	4,3
cadmium	8,65	60		31,5	0,234	92	594	0,057	75	4,0
calcium	1,55	20		22,3	0,65	96	1115	0,33	43	4,2
chroom	7,19	25		7,0	0,45	43	2180	0,28	130	3
goud	19,3	79	1,3-2,2	14	0,129	318	1337	0,066	22	3,6
ijzer	7,87	220	3,5	11,7	0,46	80,4	1811	0,276	105	6,5
kalium	0,86			83	0,754	130	336	0,065	67	5,4
kobalt	8,9	210		13,7	0,42	70	1768	0,26	65	6,2
koper	8,96	124	2,1	16,8	0,387	390	1357	0,205	17	4,3
kwik	13,546	–		182 ►1	0,14	10,3	234	0,012	960	0,93
lood	11,3	15	0,1-0,3	28,9	0,128	35,3	601	0,025	210	4,1
magnesium	1,74	44		25,6	1,026	156	923	0,368	46	3,8
molybdeen	10,2	330	7-14	5	0,26	138	2896	0,293	56	4,3
natrium	0,97			69,6	1,23	142	371	0,113	47	5,5
nikkel	8,90	196	0,59	12,7	0,46	90,9	1728	0,310	78	6,5
platina	21,5	165	1,2-1,4	8,9	0,133	71,6	2042	0,113	106	3,9
tantaal	16,7	190	4-12	6,5	0,14	54	3290	0,17	155	3,1
tin ►2	7,31	55	0,19	22	0,22	64	505	0,059	115	4,3
uraan	19,1	130	5,1	15	0,116	21,9	1406	0,40	220	2,1
wolfraam	19,3	360	15-42	4,5	0,135	173	3695	0,192	55	4,9
zilver	10,50	77	1,5-3,6	19,2	0,24	429	1235	0,105	16	3,9
zink	7,2	93	1,3-1,5	29,7	0,386	116	693	0,107	62	4,1

1 ► kubieke uitzettingscoëfficiënt

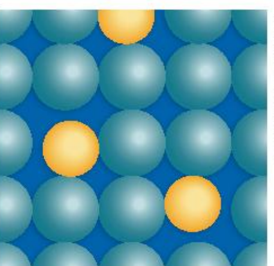
2 ► wit tetragonaal

Gegevens van alliages (legeringen)

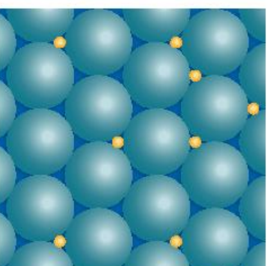
	samenstelling	*dichtheid* $T = 293$ K	*elasticiteits-modulus*	*lineaire uitzettings-coëfficiënt*	*soortelijke warmte* $T = 293$ K	*warmte-geleidings-coëfficiënt*	*smeltpunt* $p = p_0$	*soortelijke weerstand* $T = 293$ K	*weerstands-temperatuur-coëfficiënt*
	massa %	10^3 kg m^{-3}	10^{12} Pa	10^{-6} K^{-1}	10^3 J kg^{-1} K^{-1}	W m^{-1} K^{-1}	K	10^{-6} Ω m	10^{-3} K^{-1}
brons	90% Cu 10% Sn	8,9	0,10	19	0,38	190	1280	0,14	
constantaan	54–58% Cu 1% Mn 45–41% Ni	8,9	0,11	15	0,41	22	1540	0,45	0,05
duraluminium	95% Al 4% Cu	2,8	0,071	23	0,92	160	652		
gietijzer	94% Fe 2,5% Si 3–4% C	7,3	0,10	11	0,50	60	1450	0,10	6,5
invar	64% Fe 36% Ni	8,1	0,145	2	0,503	16	1723	0,10	2
manganien	84% Cu 12% Mn 4% Ni	8,5	0,13	16	0,41	22	1270	0,43	0,02
messing	55–70% Cu 45–30% Zn	8,5	0,10	21	0,38	120	1170	0,07	2
nichroom	60% Ni 22% Fe 18% Cr	8,2		13		13		1,10	0,1
nieuw zilver (duits zilver)	45–70% Cu 5–30% Ni 8–45% Zn	8,9	0,11	18	0,40	33	1375	0,33	0,4
soldeer (zacht)	50% Pb 50% Sn	9,0	0,000045	23	0,176	80	490	0,15	
staal									
• koolstofstaal	99% Fe 0,8% C	7,8	0,20	12	0,48	50	1630	0,18	
• roestvrij staal	85% Fe 13% Cr 2% C	7,8	0,20	10	0,46	50	1780	0,72	

1 Homogene structuur

substitutioneel



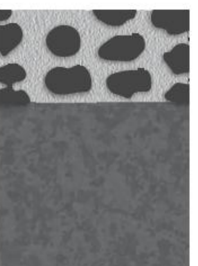
interstitieel



2 Heterogene structuur

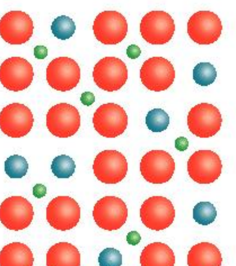


perliet (α-ijzer/cementiet)



LaNiFe-legering

■ Er komen ook mengvormen van substitutionele en interstitiële legeringen voor.



■ Als er een regelmaat is in de structuur van de substitutionele/interstitiële plaatsen, is er sprake van een intermetallische verbinding: vb. β-messing/cementiet.

	dichtheid $T = 293$ K	elasticiteits-modulus	lineaire uitzettings-coëfficiënt	soortelijke warmte $T = 293$ K	warmtegeleidings-coëfficiënt $T = 293$ K	soortelijke weerstand
	10^3 kg m^{-3}	10^9 Pa	10^{-6} K^{-1}	10^3 J kg^{-1} K^{-1}	W m^{-1} K^{-1}	Ω m
acryl	1,2		70–100	1,4–2,1	0,2	10^{19}
asbest	0,58	20		0,84	0,1	
asfalt	1,2		200	0,92	0,6	
bakeliet	1,3	6–10	30	0,92	0,2	10^5–10^9
barnsteen	1,0		54		0,13	
basalt	2,7–3,2			0,84–0,92	1	
been (bot)	1,9	14				
boter	0,86–0,87					
bruinsteen	3,4			0,73		
calciet	2,7					
cement (beton)	1,5–2,4	20–40	10–12	0,9–1,1	0,2–20	
diamant	3,52		1,3	0,49	165	10^{13}
eboniet	1,15		80–85	1,67	0,17	10^8
fosfor • wit	1,82		124	0,795		10^{17}
• rood	2,20					
germanium	5,32		6,1	0,31	63	0,588
gips	2,32		25	0,8–1,1	1,3	
glas • gewoon	2,5–2,6	50–100	8–9	0,8	0,93	10^{12}
• flint-	3,1–3,9	60–80	8	0,5	0,8	
grafiet	2,1		1–2	0,69–0,72	160	10^{-5}
graniet	2,7		7–8	0,82	3,5	
hout • balsa-	0,15	6	5–50		0,1	
• ebben-	1,26		3–5		0,3–0,5	
• eiken-	0,78	11	3–5	2,39	0,3–0,5	
• vuren-	0,58	10–20	5	2,72	0,3–0,5	10^{12}
ijs ($T = 269$ K)	0,917	3	50	2,2	2,1	
ivoor	1,9				0,6–1,2	
kamfer	0,99					
keukenzout	2,17		40	0,88	0,045–0,06	
koolstof	3,5		28	0,85		
kurk	0,20–0,35			1,7–2,1	0,05–0,11	10^8
kwarts	2,2–2,5	70	0,4	0,74	0,22	10^{20}
marmer	2,7	40–50	12	0,88	2–4	10^9
mica	2,8	160–210	3	0,88	0,4–0,6	10^{14}
naftaleen	1,15		94	1,3		$3 \cdot 10^5$
nylon	1,14		100–140	1,7	0,2–0,3	$> 10^{14}$
papier	0,7–1,2				0,18	10^{10}
paraffine	0,85		100–200	2,1–2,9	0,21–0,26	10^{15}
perspex	1,2	2,5–3,5	80	1,5	1,9	$> 10^{19}$
polyetheen	0,93	0,5	180	2,2	0,23–0,29	$3 \cdot 10^{15}$
polystyreen	1,06	2,5–3	70	1,3	0,08	$> 10^{14}$
porselein	2,4	70–80	2–5	0,8	1,0–1,7	10^{12}
pvc (polyvinylchloride)	1,3	2,5–3,5	150–250	1–2	0,16	10^{12}–10^{14}
rubber	1,2–1,6	10^{-4}–10^{-2}	200	1,1–2	0,15	10^{13}
seleen	4,79		39	0,35		
silicium	2,33	100–110	4,2	0,76	80–150	625
steen • baksteen	1,5–1,8	10– 20	3–9	0,75	0,6	
• klinker	1,5–2,0	10– 20			1,1	
suiker	1,58		80	1,2	0,6	
teflon	2,2		90	1,0	0,2–0,3	10^{20}
was	0,95	1,8		2,5		
zand (droog)	1,6			0,80	1	
zwavel • rombisch	2,07		61	0,73	0,2	
• monoklien	1,96		80	0,74	0,2	10^{23}

■ smeltpunt in K ($p = p_0$): diamant >3800; witte fosfor 317; glas 1000; keukenzout 1074; naftaleen 353; paraffine 325-329; suiker 458; ijs 273.

■ smeltwarmte in 10^3 J kg^{-1}: diamant 17000; witte fosfor 21,5; keukenzout 500; paraffine 146,5; suiker 56; ijs 334.

■ maximaal toelaatbare temperatuur in K: gips 400; glas 1000; marmer 1563; perspex 640; polyetheen 660; pvc 540; rubber 520.

		dichtheid	treksterkte (maximale mechanische spanning)	rek bij breuk	druksterkte	elasticiteits-modulus	lineaire uitzettings-coëfficiënt	warmte-geleidings-coëfficiënt
		10^3 kg m^{-3}	10^6 Pa	%	10^6 Pa	10^9 Pa	10^{-6} K^{-1}	W m^{-1} K^{-1}
traditionele materialen	baksteen	1,6 - 1,9	2 - 3	< 1	10 - 90	10 - 20	3 - 9	0,5 - 1,0
	beton	2,2 - 2,4	2 - 6	< 1	20 - 80	15 - 30	10 - 14	0,4 - 1,7
	glas	2,5 - 2,7	30 -100	0,1 - 0,2	400 - 1200	50 - 100	6 - 9	0,9
	hout	0,5 - 1,1	85 - 160	0,2 - 2	30 - 80	8 - 18 ▶[2]	3 - 5	0,1 - 0,5
	natuursteen	1,8 - 3,0	1 - 8	< 1	60 - 320	3 - 25	4 - 12	2 - 4
metalen	aluminium (6061T6 1%Mg 0,6%Si e.a.)	2,70	310	10	240	69	24	160
	lood	11,35	14 - 17	60		14 - 18	29	35
	messing (UNS C86500; 55%Cu 39%Zn 1%Al)	8,3	490	30	170	105	18	87
	staal (bouw- ,1.0045, <1,6%Mn <0,55%Si)	7,85	490	20		210	12	52
	staal (roestvast;1.4003; 11,5%Cr 1,5%Mn 1%Si)	7,74	550	20		200	11,5	30,5
	staal (roestvast;1.4401; 16%Cr 10%Ni 2%Mo)	8,0	530	40		200	16,5	15
	titanium (grade 5; 6%Al 4%V max. 0,25%Fe)	4,43	950	14	970	114	8,6	6,7
composieten	kunststoffen, glasvezel gewapend	1,3 - 2,3	65 - 1800	1,2 - 2	100 - 540	6 - 50	10 - 30	0,4 - 0,6
	glasfiber(30%)-nylon, gegoten		150 ▶[2]			10,6 ▶[2]		
	glasfiber (59%)-epoxyhars, gehard		1140 ▶[2]			47 ▶[2]		
	carbonfiber (61%)-epoxyhars, gehard		2390 ▶[2]			146 ▶[2]		
thermoharders	**thermoharders** ▶[1]	1,2 - 1,3	25 - 70	1 - 3	70 - 300	2 - 7	40 - 60	0,12 - 0,40
	PUR polyurethaan	13 - 1010	0,3 – 550					0,017 – 0,06
	elastomeren	0,85 - 1,1	10 - 28	450 - 850		0,005		
thermoplasten	**thermoplasten**	0,9 - 2	5 - 90	1 - 800	28 - 140	0,4 - 4,5	50 - 220	0,12 - 0,35
	ABS acrylonitrilbutadiëenstyreen	1,04 – 1,07	30 – 45	15 - 30		1,4 – 3	60 - 110	
	HDPE hoge-dichtheidpolyethyleen	0,94 – 0,96	22 – 38	250 - 750		0,4 – 1,7	200	
	LDPE lage-dichtheidpolyethyleen	0,91 – 0,925	5 –28	200 - 600		0,1 – 1	200 - 250	
	PP polypropyleen	0,90 – 0,92	30 – 40	> 450		1,1 - 1,6	150	
	PS polystyreen, piepschuim, EPS	1,04 - 1,15	35 – 70	15		2,6 - 4,2	70	0,035
	PTFE polytetrafluoretheen, Teflon	2,2	25 – 35	350 - 550	40	0,4 – 0,6	60	
	PVC (hard) polyvinylchloride	1,4	50 – 60	20 - 50		2,4 - 4,1	80	0,026 – 0,033
	PVC (zacht) polyvinylchloride	1,20	15 – 25	> 50		50 - 100	70 - 100	0,03 – 0,04

1 ▶ thermoharders: hieronder o.a. diverse harssoorten, ureumformaldehyde (UF)
2 ▶ in de vezelrichting, in de andere richtingen beduidend zwakker

	dichtheid	*opper-vlakte-spanning*	*viscositeit*	*kubieke uitzettings-coëfficiënt*	*soortelijke warmte*	*warmte-geleidings-coëfficiënt*	*smelt-punt*	*smelt-warmte*	*kook-punt*	*verdam-pings-warmte*
	$T = 293$ K	$T = 293$ K	$T = 293$ K	293-373 K	293-373 K	$T = 293$ K	$p = p_0$		$p = p_0$	
	10^3 kg m^{-3}	10^{-3} N m^{-1}	10^{-3} Pa s	10^{-3} K^{-1}	10^3 J kg^{-1} K^{-1}	W m^{-1} K^{-1}	K	10^3 J kg^{-1}	K	10^6 J kg^{-1}
aceton [propanon]	0,79	23	0,33	1,5	2,20	0,16	178	92	329	0,515
alcohol [ethanol]	0,80	22	1,2	1,1	2,43	0,17	159	105	351	0,841
aniline	1,02	43	4,4	0,84	2,05	0,17	267	88	457	0,434
benzeen	0,88	29	0,65	1,2	1,71	0,15	279	127	353	0,393
benzine	0,72			1,0	2,2	0,15	123		394 ▶1	
chloroform	1,49	27	0,6	1,3	0,96	0,12	210	244	334	0,250
ether [ethoxyethaan]	0,71	17	0,23	1,7	2,30	0,14	157	115	308	0,377
glycerol	1,26	62	1500	0,5	2,43	0,29	291	175	563	0,83
koolstofdisulfide	1,26	32	0,36	1,2	1,00	0,14	161	57	319	0,35
kwik	13,5 ▶2	500	1,55	0,182	0,138	10,4	234	12	630	0,301
melk	1,02–1,04	45	2,1	0,8 ▶3	3,9	0,49	272,5	92	373	
methanol	0,79	23	0,60	1,2	2,50	0,21	176	145	338	1,11
olijfolie	0,92	33	84	0,72	1,65	0,17	267		570	
paraffineolie ▶4	0,80	26	1000	90	2,13	0,15	327		573	
petroleum	0,79	27		1,0	2,14	0,15	203		423	0,319
siliconenolie	0,76	16	0,49	1,6	1,37	0,10	205		373	
spiritus (95%)	0,85		1,4				183		351 ▶1	
stookolie	0,95									
terpentijn	0,84	27	1,5	0,97	1,75	0,15	263		453	0,293
tetra	1,59	26	0,97	1,22	0,84	0,10	250	17	350	0,193
water	0,9982	73	1,00	0,21 ▶5	4,18	0,60	273	334	373	2,26
zeewater ▶6	1,024		1,01		3,93	0,60	270	334		2,26
zwaar water	1,105		1,25		4,22	0,58	277	318	374	2,07
zwavelzuur	1,84	55	28	0,56	1,38		284		603	0,511

■ Kritieke temperatuur en kritieke druk: zie tabel 12.

1 ▶ kooktraject

2 ▶ 13,6 bij 273 K

3 ▶ 273-333 K

■ Glas: zie tabel 10

4 ▶ destilleert tussen 323 en 473 K

5 ▶ 293 K

6 ▶ 30‰ zout

■ Warmtegeleiding : bij gassen en vloeistoffen geldt deze waarde bij afwezigheid van stroming.

	formule	*dichtheid* $T = 273$ K, $p = p_0$	*soortelijke warmte bij constante druk* c_p $T = 273$ K	*verhouding* $\gamma = \frac{c_p}{c_V}$	*warmtegeleidings-coëfficiënt* $T = 273$ K	*smeltpunt* $p = p_0$	*kookpunt* $p = p_0$	*verdampings-warmte*	*kritieke temperatuur*	*kritieke druk*
		kg m^{-3}	10^3 J kg^{-1} K^{-1}		10^{-3} W m^{-1} K^{-1}	K	K	10^6 J kg^{-1}	K	10^6 Pa
aardgas (Gronings)	mengsel ▶1	0,833	1,9	1,31	29	▶1	▶1	▶1	187 ▶2	4,6 ▶2
acetyleen [ethyn]	C_2H_2	1,18	1,67	1,25	19	192 ▶3	198 ▶3	1,39	309	6,3
alcoholdamp [ethanol]	C_2H_5OH	▶4	1,43	1,17	152 ▶5	159	351	0,84	516	6,2
ammoniak	NH_3	0,77	2,06	1,32	22	195	240	1,37	405	11,9
argon	Ar	1,78	0,52	1,66	16	84	87	0,16	151	4,9
chloor	Cl_2	3,21	0,49	1,36	7,6	172	239	0,29	417	8,4
chloroformdamp	$CHCl_3$	▶4	0,55 ▶5	1,15 ▶5	▶4	210	334	0,24	535	5,5
deuterium	$^2H_2$	0,180		1,73	129	18	23	0,31	38	1,7
ethaan	C_2H_6	1,36	1,72	1,22	18	90	185	0,49	305	4,9
ether [ethoxyethaan]	$C_2H_5OC_2H_5$	▶4	1,61 ▶5	1,09	▶4	157	308	0,38	467	3,3
ethyleen [etheen]	C_2H_4	1,26	1,41	1,25	17	104	169	0,52	283	5,1
fluor	F_2	1,70	0,82	1,36	176	54	85	0,17	144	5,7
freon -12	CF_2Cl_2	5,51	0,06	1,14	8,5	115	243	0,28	385	4,1
helium	He	0,178	5,1	1,66	144	1,5 ▶6	4,2	0,021	5,2	0,23
isobutaan [2-methylpropaan]	C_4H_{10}	2,67	1,61	1,11	14	135	261	0,36	408	3,6
koolstofdioxide	CO_2	1,986	0,82	1,31	14	195 ▶3	▶3	0,57	304	7,3
koolstofmono-oxide	CO	1,25	1,05	1,40	23	74	82	0,21	134	3,6
krypton	Kr	3,745	0,25	1,69	8,7	116	120	0,11	210	5,5
kwikdamp	Hg	▶4	0,10	1,67	▶4	234	630	0,30	1720	100
lucht	mengsel	1,293	1,00	1,40	24	60 ▶2	80 ▶2	0,21 ▶2	132 ▶2	3,8 ▶2
methaan	CH_4	0,72	2,21	1,31	30	91	112	0,51	191	4,6
neon	Ne	0,90	1,03	1,64	46	25	27	0,13	44	2,7
ozon	O_3	2,22	0,79	1,40		80	161	0,25	268	7,0
propaan	C_3H_8	2,02	1,53	1,13	15	86	231	0,43	370	4,2
stikstof	N_2	1,25	1,04	1,40	24	63	77	0,20	126	3,3
waterdamp	H_2O	0,598 ▶5	2,0	1,33 ▶5	16	273	373	2,26	647,29	22,1
waterstof	H_2	0,090	14,3	1,41	174	14	20,3	0,45	33	1,3
xenon	Xe	5,9	0,16	1,67	5,2	161	165	0,10	290	5,9
zuurstof	O_2	1,43	0,92	1,40	25	54	90	0,21	154	5,1
zwaveldioxide	SO_2	2,93	0,64	1,27	8,4	200	263	0,39	431	7,8

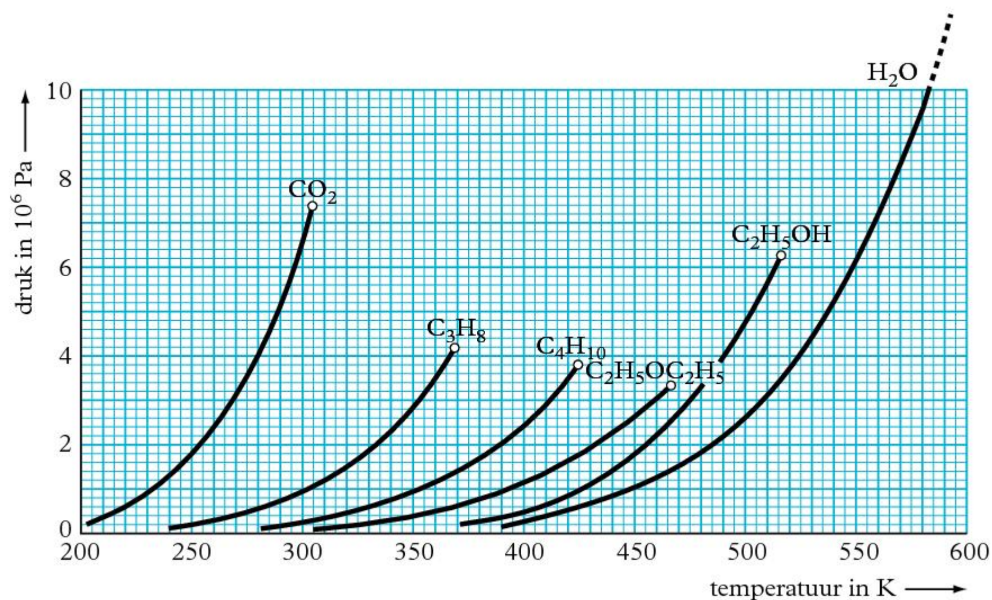
■ Warmtegeleiding : bij gassen en vloeistoffen geldt deze waarde bij afwezigheid van stroming.

1 ▶ Gronings aardgas is 80% CH_4 en 20% N_2.
2 ▶ gewogen gemiddelde; eigenlijk een traject
3 ▶ bij standaarddruk rechtstreekse overgang vast - gas
4 ▶ vloeibaar
5 ▶ bij 373 K
6 ▶ bij $2{,}6 \cdot 10^6$ Pa

temperatuur °C	*druk* Pa	*temperatuur* °C	*druk* Pa	*temperatuur* °C	*druk* 10^3 Pa	*temperatuur* °C	*druk* 10^4 Pa
–70,0	0,26	0,5	633	23,5	2,896	57,0	1,732
–60,0	1,08	1,0	657	24,0	2,985	58,0	1,816
–50,0	3,94	1,5	681	24,5	3,076	59,0	1,903
–40,0	12,8	2,0	706	25,0	3,169	60,0	1,993
–30,0	38,0	2,5	732	25,5	3,264	61,0	2,087
–20,0	103	3,0	758	26,0	3,363	62,0	2,185
–19,5	108	3,5	786	26,5	3,463	63,0	2,287
–19,0	113	4,0	814	27,0	3,567	64,0	2,392
–18,5	119	4,5	843	27,5	3,674	65,0	2,502
–18,0	124	5,0	872	28,0	3,782	66,0	2,616
–17,5	131	5,5	903	28,5	3,893	67,0	2,735
–17,0	137	6,0	935	29,0	4,007	68,0	2,857
–16,5	144	6,5	968	29,5	4,125	69,0	1,985
–16,0	151	7,0	1002	30,0	4,245	70,0	3,118
–15,5	157	7,5	1037	30,5	4,369	75,0	3,855
–15,0	165	8,0	1072	31,0	4,496	80,0	4,736
–14,5	173	8,5	1110	31,5	4,625	85,0	5,780
–14,0	181	9,0	1148	32,0	4,757	90,0	7,011
–13,5	189	9,5	1187	32,5	4,893	92,0	7,568
–13,0	199	10,0	1229	33,0	5,033	94,0	8,154
–12,5	207	10,5	1270	33,5	5,176	96,0	8,777
–12,0	217	11,0	1313	34,0	5,323	98,0	9.439
–11,5	227	11,5	1358	34,5	5,472	99,0	9,785
–11,0	237	12,0	1403	35,0	5,627	99,5	9,9622
–10,5	248	12,5	1450	35,5	5,784	100,0	10,1325
–10,0	260	13,0	1498	36,0	5,945	101	10,509
–9,5	271	13,5	1547	37,0	6,280	102	10,887
–9,0	283	14,0	1599	38,0	6,630	103	11,27
–8,5	296	14,5	1651	39,0	6,997	104	11,67
–8,0	309	15,0	1706	40,0	7,381	110	14,34
–7,5	323	15,5	1761	41,0	7,784	120	19,87
–7,0	337	16,0	1818	42,0	8,205	130	27,03
–6,5	352	16,5	1878	43,0	8,645	140	36,15
–6,0	368	17,0	1938	44,0	9,107	150	47,62
–5,5	384	17,5	2002	45,0	9,590	160	61,82
–5,0	401	18,0	2065	46,0	10,09	170	79,22
–4,5	419	18,5	2130	47,0	10,62	180	100,3
–4,0	437	19,0	2198	48,0	11,17	200	155,5
–3,5	456	19,5	2268	49,0	11,74	220	232
–3,0	476	20,0	2340	50,0	12,34	240	334
–2,5	496	20,5	2412	51,0	12,97	260	469
–2,0	517	21,0	2488	52,0	13,62	280	641
–1,5	539	21,5	2565	53,0	14,30	300	859
–1,0	563	22,0	2645	54,0	15,01	320	1129
–0,5	587	22,5	2727	55,0	15,75	340	1460
0,0	611	23,0	2811	56,0	16,52	360	1860
0,01 °C	611,2					374,13 °C	2212
273,16 K	tripelpunt					647,29 K	kritisch punt

13 Verzadigingsdrukken

B Koolstofdioxide, propaan, butaan, ether, alcohol en water (CO_2, C_3H_8, C_4H_{10}, $C_2H_5OC_2H_5$, C_2H_5OH en H_2O)



14 Kook- en sublimatiepunten

	$0{,}1333 \cdot 10^3$ Pa	$1{,}333 \cdot 10^3$ Pa	$p = p_0$	$0{,}2026 \cdot 10^6$ Pa	$1{,}013 \cdot 10^6$ Pa	*kritieke temperatuur*	*kritieke druk*
	K	K	K	K	K	K	10^6 Pa
aceton [propanon]	214	242	329	352	418	509	6,1
alcohol [ethanol]	242	271	351	371	425	516	6,2
benzeen	236	262	353	377	452	563	4,6
ether [ethoxyethaan]	199	225	308	329	395	467	3,3
helium-4	1,4	1,8	4,3	5,1	►2	5,2	0,23
kwik	399	457	630	671	790	1720	100
stikstof	47	54	77	84	103	126	3,3
water	256 ►1	284	373	393	454	647,29	22,12
zwaar water			374			645	21,7

1 ► sublimatie

2 ► boven de kritieke temperatuur

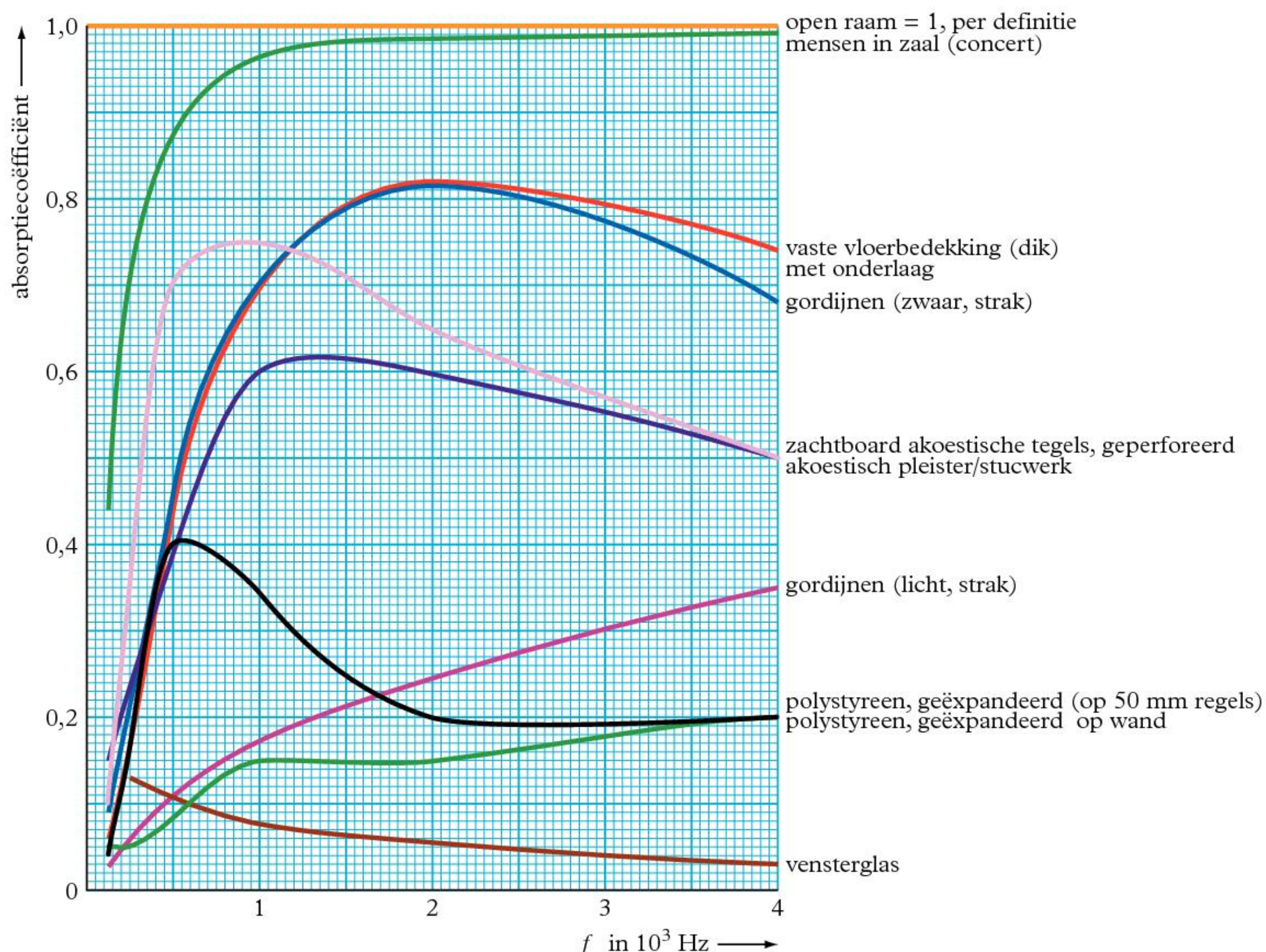
Voortplantingssnelheden A

vaste stof		vloeistof		gas of damp	
T = 293 K	10^3 m s^{-1}	T = 293 K	10^3 m s^{-1}	T = 273 K	10^3 m s^{-1}
aluminium	5,08	alcohol [ethanol]	1,17	ether (360 K)	0,2206
beton	4,3	glycerol	1,93	helium	0,965
glas	4,0-4,5	methanol	1,12	koolstofdioxide	0,259
ijs (269 K)	3,28	siliconenolie	0,79	lucht (233 K)	0,307
ijzer	5,1	water (273 K)	1,403	(253 K)	0,319
ivoor	3,0	(293 K)	1,484	(273 K)	0,332
koper	3,8	(313 K)	1,529	(293 K)	0,343
marmer	3,8	(333 K)	1,560	(313 K)	0,354
polyetheen	0,92	(353 K)	1,555	(333 K)	0,365
rubber	0,05	(373 K)	1,543	methaan	0,430
staal	5,1	zwaar water	1,38	waterdamp (407 K)	0,494
steen	3,6	zeewater	1,51	waterstof	1,284

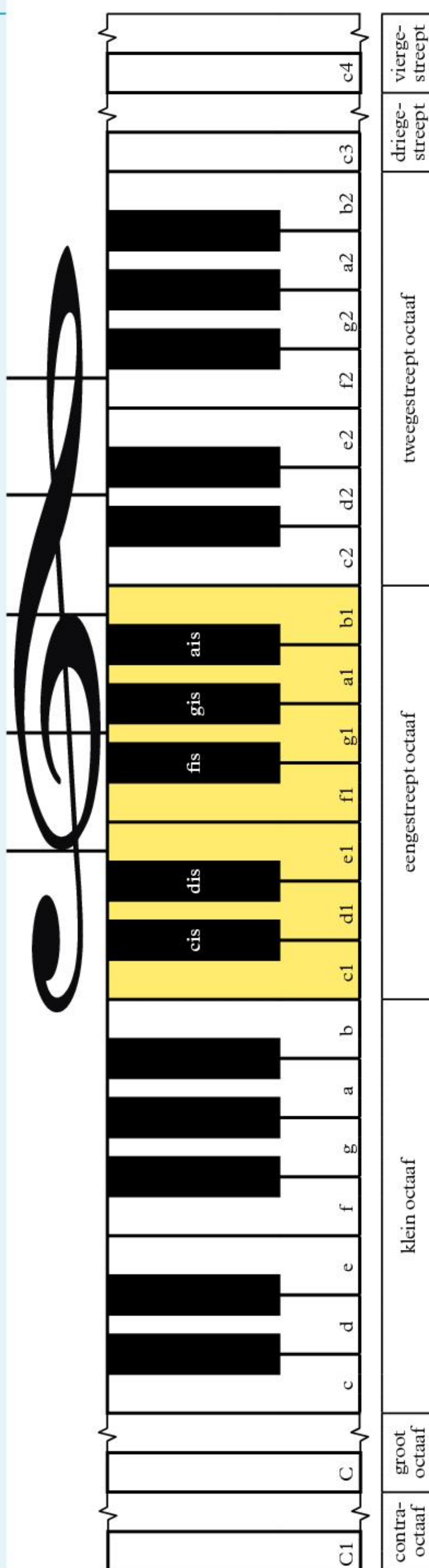
mens

T = 310 K	10^3 m s^{-1}	T = 310 K	10^3 m s^{-1}	T = 310 K	10^3 m s^{-1}
baarmoeder	>1,63	hersenen	1,56	oog(lens)	1,64-1,67
bloed	1,58	huid (epidermis)	>1,73	spieren (skelet-)	1,53-1,63
bot (schedel)	2,19-3,29	lever	1,58-1,64	tanden (glazuur)	4,5 -6,25
bot (poreus)	1,69-2,41	nier	1,56-1,58	vet	1,41-1,49
hart	>1,57	oog (glasvocht)	1,53	vruchtwater	1,53

Absorptiecoëfficiënten B



evenredig zwevende stemming			
frequentie Hz ▶4	*verhouding t.o.v.* a1 ▶1 *decimaal*	*rationaal*	*MIDI-getal*
2093,00	4,756 82	$= 2^{27/12}$	96
1046,50	2,378 41	$= 2^{15/12}$	84
987,77	2,244 93	$= 2^{14/12}$	83
932,33	2,118 93	$= 2^{13/12}$	82
880,00	2,000 00	$= 2^{12/12}$	81
830,61	1,887 75	$= 2^{11/12}$	80
783,99	1,781 80	$= 2^{10/12}$	79
739,99	1,681 80	$= 2^{9/12}$	78
698,46	1,587 41	$= 2^{8/12}$	77
659,26	1,498 32	$= 2^{7/12}$	76
622,25	1,414 20	$= 2^{6/12}$	75
587,33	1,334 84	$= 2^{5/12}$	74
554,37	1,259 93	$= 2^{4/12}$	73
523,25	1,189 20	$= 2^{3/12}$	72
493,88	1,122 45	$= 2^{2/12}$	71
466,16	1,059 45	$= 2^{1/12}$	70
440,00	1,000 00	$= 2^{0}$	69
415,30	0,943 86	$= 2^{-1/12}$	68
392,00	0,890 91	$= 2^{-2/12}$	67
369,99	0,840 89	$= 2^{-3/12}$	66
349,23	0,793 70	$= 2^{-4/12}$	65
329,63	0,749 16	$= 2^{-5/12}$	64
311,13	0,707 11	$= 2^{-6/12}$	63
293,66	0,667 41	$= 2^{-7/12}$	62
277,18	0,629 95	$= 2^{-8/12}$	61
261,63	0,594 61	$= 2^{-9/12}$	60
246,94	0,561 23	$= 2^{-10/12}$	59
233,08	0,529 73	$= 2^{-11/12}$	58
220,00	0,500 00	$= 2^{-12/12}$	57
207,65	0,471 93	$= 2^{-13/12}$	56
196,00	0,445 45	$= 2^{-14/12}$	55
185,00	0,420 45	$= 2^{-15/12}$	54
174,61	0,396 84	$= 2^{-16/12}$	53
164,81	0,374 57	$= 2^{-17/12}$	52
155,56	0,353 55	$= 2^{-18/12}$	51
146,83	0,333 70	$= 2^{-19/12}$	50
138,59	0,314 98	$= 2^{-20/12}$	49
130,81	0,297 30	$= 2^{-21/12}$	48
65,41	0,148 66	$= 2^{-33/12}$	36
32,70	0,074 32	$= 2^{-45/12}$	24



reine stemming		
verhouding t.o.v. c1 ▶2 *rationaal*	*naam*	*verhouding t.o.v.* ▶3 *voorgaande toon*
2:1	octaaf	16:15
15:8	(grote) septiem	9:8
9:5 of 16:9	kleine septiem	9:8
5:3	(grote) sext	10:9
8:5	kleine sext	16:15
3:2	(reine) kwint	9:8
36:25 of 64:45	verminderde kwint	
4:3	kwart	16:15
5:4	(grote) terts	10:9
6:5	kleine terts	9:8
9:8 of 10:9	(grote) secunde	9:8
16:15	kleine secunde	16:15
1:1	(reine) prime	

1 ▶ De frequenties van de evenredig zwevende stemming vormen een meetkundige reeks met factor $2^{1/12} = 1{,}0595\ldots$

2 ▶ De verhoudingen van de reine stemming worden gebruikt voor het stemmen van muziekinstrumenten.

3 ▶ Het product van deze verhoudingen over een octaaf is exact gelijk aan 2.

4 ▶ Deze frequenties gaan uit van a1 (A_4) is 440 Hz.

'zone'	*geluidsdruk* Pa	*geluidsintensiteit* $W\,m^{-2}$	*geluidsdrukniveau* dB	*omschrijving*
gevaarlijke zone (doofheid)		10^{6}	180	start bemande raket op 50 m
	10^{4}			
		10^{5}	170	
		10^{4}	160	pistoolschot op 50 m
	10^{3}			
		10^{3}	150	ernstige beschadigingen gehoororganen wettelijke grens vuurwerk op 2,5 m
		10^{2}	140	straalmotor op 25 m
	10^{2}			
		10	130	startend straalvliegtuig op 50 m wereldrecord schreeuwen op 2,5 m
		1	120	'*pijngrens*' – pneumatische boor op 1 m – autoclaxon vlakbij
	10			
		10^{-1}	110	popgroep – betonboor op 1 m – cirkelzaag
schadelijke zone		10^{-2}	100	helikopter op 30 m hoogte – zware vrachtwagen met 35 $km\,h^{-1}$ op 7,5 m
	1			
		10^{-3}	90	personenauto – passerende trein lichte vrachtwagen met 35 $km\,h^{-1}$ op 7,5 m
vermoeiende zone		10^{-4}	80	drukke verkeersweg – passerende bromfiets op 7,5 m
	10^{-1}			
		10^{-5}	70	luide muziek van radio of tv in woonkamer – autosnelweg op 25 m
rustige zone (overdag)		10^{-6}	60	geanimeerd gesprek – kantoor in bedrijf – ongestoord telefoongesprek
	10^{-2}			
		10^{-7}	50	rustig gesprek – gemiddelde woonwijk overdag buiten
rustige zone ('s nachts)		10^{-8}	40	stille woonstraat – woonkamer – koelkast op 1 m
	10^{-3}			
		10^{-9}	30	leeszaal bibliotheek – fluisterend gesprek – tikkend horloge
zachte zone		10^{-10}	20	ruisende bladeren – zacht gefluister – omroepstudio
	10^{-4}			
		10^{-11}	10	vallend blad – vrijwel volledige stilte
onhoorbare zone	$2 \cdot 10^{-5}$	10^{-12}	0	'*gehoordrempel*' – stilte voor het menselijk oor
	10^{-5}			
		10^{-13}	–10	

■ Gehoorgevoeligheid: zie tabel 27C.

16 Elektriciteit en magnetisme

A Relatieve diëlektrische constanten

bij $T = 298$ K, $p = p_0$

alcohol [ethanol]	25	glycerol	43	pvc	4,5
benzeen	2,3	lucht	1,00056	silicium	12
germanium	16	papier	2,1	water	80

B Soorten magnetisme

soort	*voorbeelden van stoffen*	*eigenschap*	*bijvoorbeeld*	
diamagnetisme	glas, koper, water, waterstof	$\mu_r < 1$	koper	$\mu_r =$ 0,999 990
			water	$\mu_r =$ 0,999 910
paramagnetisme	aluminium, lucht, platina,	$\mu_r > 1$	aluminium	$\mu_r =$ 1,000 021
	zuurstof		zuurstof	$\mu_r =$ 1,000 018
ferromagnetisme	ijzer, kobalt, nikkel, staal	hystereselus		
antiferromagnetisme	bruinsteen	tegengestelde oriëntatie van magnetisatie		
ferrimagnetisme	ferrieten	spontane magnetisatie		

C Halfgeleiders en supergeleiders

Halfgeleiders

	bandafstand (gap-energie)	*gaten-beweeglijkheid*	*elektronen-beweeglijkheid*
	eV	$m^2 V^{-1} s^{-1}$	$m^2 V^{-1} s^{-1}$
C (diamant)	5,3	0,13	0,18
CdS	2,40	-	0,02
GaAs	1,40	0,04	0,06
Ge	0,72	0,35	0,45
HgTe	0,01	0,02	2,0
InAs	0,45	0,025	3,0
InSb	0,23	0,14	8,0
PbS	0,39	0,05	0,05
PbSe	0,27	0,14	0,14
PbTe	0,33	0,20	0,20
Si	1,10	0,05	0,13

Supergeleiders

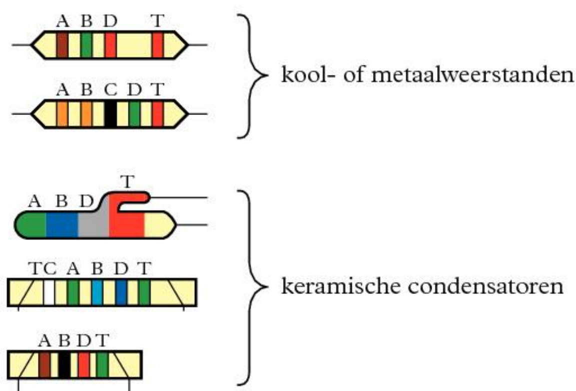
	sprongpunt T_c
	K
kwik (Hg)	4,15
lood (Pb)	7,17
niobium (Nb)	9,46
NbN	16,0
Nb_3Al	20,7
Nb_3Ge	23,2
$Tl_2Ba_2CuO_6$	80
$Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$	85
$YBa_2Cu_3O_{7-x}$	92
$Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_6$	110
$TlBa_2Ca_3Cu_4O_{11}$	122
$Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$	125
$HgBa_2CaCu_2O_6$	128
$HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$	134

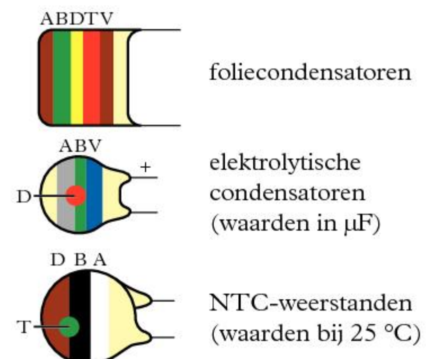
Elektriciteit en magnetisme | 16
Thermo-elektriciteit | D

Gemiddelde spanningstoename per graad temperatuurstijging, als één van de contactpunten 273 K is.

thermokoppel	*gemiddelde spanningstoename (seebeckcoëfficiënt)*	*temperatuurgebied, waarin geldig*	*temperatuurgebied, waarin thermokoppel bruikbaar*	*type*
	10^{-6} VK^{-1}	K	K	
chromel/alumel	41	273-1473	3-1645	K
koper/constantaan	42	253- 373	3- 673	T
ijzer/constantaan	55	253- 473	63-1473	J
platina/platina 10% rhodium	6	273- 353	223-2040	S

Elektrotechniek | 17
Kleurcodes | A





TC = code voor temperatuurcoëfficiënt
V = code voor toelaatbare spanning
Twee naast elkaar gelegen ringen kunnen dezelfde kleur hebben: een twee keer zo brede ring.

A/B/C =	1e, 2e, 3e cijfer
zwart	0
bruin	1
rood	2
oranje	3
geel	4
groen	5
blauw	6
violet	7
grijs	8
wit	9

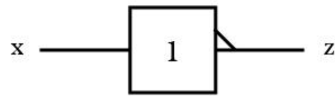
D = $\cdot 10^n$	n =	
zwart	0	
bruin	1	
rood	2	
oranje	3	
geel	4	
groen	5	
blauw	6	
wit	–1	*C*
grijs	–2	*C*
violet	–3	*C*
goud	–1	*R*
zilver	–2	*R*

T = tolerantie		
bruin	± 1%	R en NTC
rood	± 2%	R en NTC
goud	± 5%	R en NTC
zilver	± 10%	R en NTC
geen kleur	± 20%	R en NTC
bruin	± 1%	$C > 10$ pF
rood	± 2%	$C > 10$ pF
groen	± 5%	$C > 10$ pF
wit	± 10%	$C > 10$ pF
zwart	± 20%	$C > 10$ pF
bruin	± 0,1 pF	$C < 10$ pF
rood	± 0,25 pF	$C < 10$ pF
groen	± 0,5 pF	$C < 10$ pF
wit	± 1 pF	$C < 10$ pF

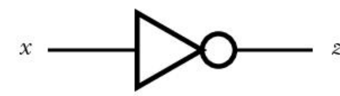
	draad zonder weerstand
	kruisende draden (geen elektrische verbinding)
	snijdende draden (elektrisch verbonden)
+ -	element, batterij (spanningsbron)
	variabel (weerstand, spanningsbron e.a.)
	gelijkspanning, gelijkstroom
~	wisselspanning, wisselstroom
	gelijk- en wisselstroom mogelijk gelijk- en wisselspanning mogelijk
G	wisselstroomdynamo (generator)
G	gelijkstroomdynamo (generator)
	schakelaar (open en gesloten)
	lichtpunt
	signaallamp
A	ampèremeter
V	voltmeter
Ω	ohmmeter
	galvanometer
	weerstand
	spanningsdeler
	spoel (zonder resp. met kern)
	transformator
M M	motor (gelijk- of wisselstroom)
	oscilloscoop
	microfoon
	luidspreker
	condensator
	diëlektricum
	smeltveiligheid (zekering)
	weerstand met negatieve temperatuurcoëfficiënt (NTC)
	lichtgevoelige weerstand (zonder resp. met omhulling)
	fotocel
	diode (zonder resp. met omhulling)
	led
	p-n-p-transistor (zonder resp. met omhulling)
	n-p-n-transistor (zonder resp. met omhulling)
	gasontladingslamp
	versterker
	aardverbinding
	massaverbinding
	spanningsbron ($R_i = 0$)
	stroombron ($R_i = \infty$)
	driefasig systeem in driehoekschakeling
	driefasig systeem in sterschakeling
	driefasig systeem in zigzagschakeling

Nederlandse norm	**Amerikaanse norm**	**waarheidstabel**

INVERTOR



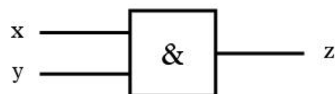
$z = -x$



niet-x

x	z
0	1
1	0

EN, AND



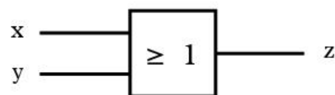
$z = x \cdot y$ of $z = \overline{\overline{x} + \overline{y}}$



zowel x als y

x	y	z
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

OF, OR



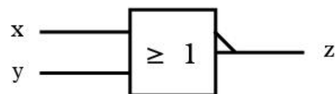
$z = \overline{\overline{x} \cdot \overline{y}}$ of $z = x + y$



x dan wel y

x	y	z
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

NOF, NOR



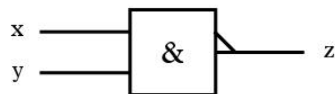
$z = \overline{x} \cdot \overline{y}$ of $z = \overline{x + y}$



x noch y

x	y	z
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

NEN, NAND



$z = \overline{x \cdot y}$ of $z = \overline{x} + \overline{y}$



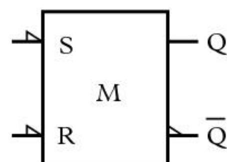
niet x en y beide

x	y	z
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

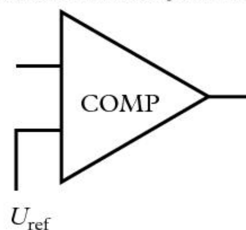
KLOK, CLK



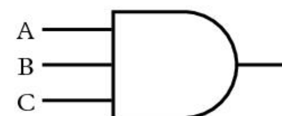
SET-RESET FLIPFLOP



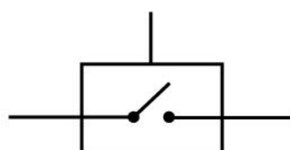
COMPARATOR, BUFFER



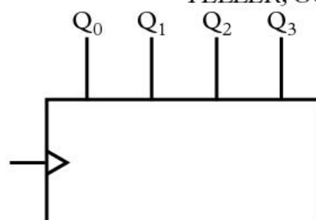
MULTIPLE INPUT AND



CMOS



TELLER, COUNTER



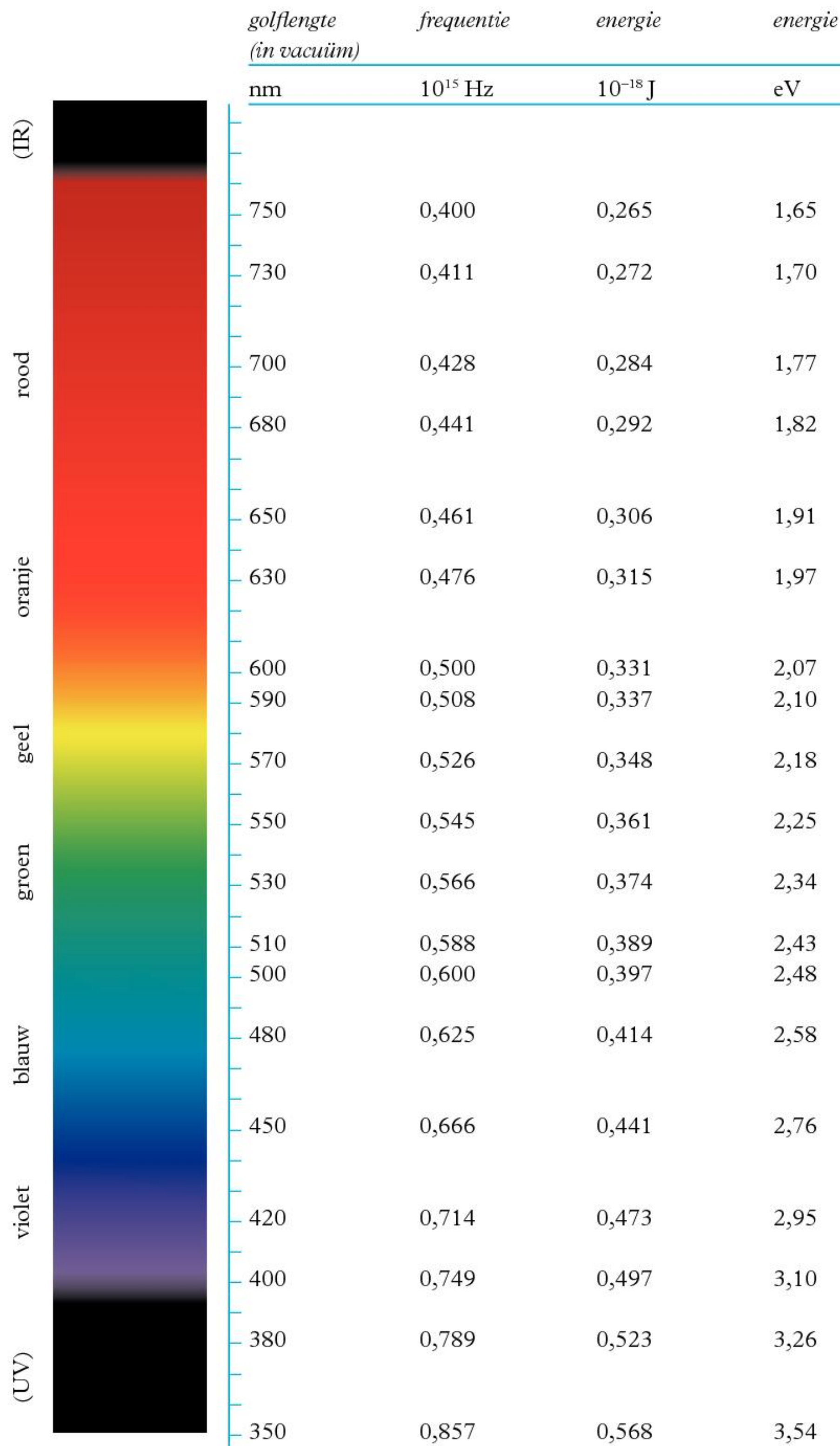


vaste stoffen	*brekingsindex t.o.v. lucht*				*grenshoek in graden*	*doorlaat-gebied in* μm
golflengte →	687 nm	589 nm	486 nm	434 nm	589 nm	
T = 293 K, $p = p_0$	*rood*	*geel*	*blauw*	*violet*	*geel*	
acryl	1,487	1,491	1,497	1,503	42,1	
calciumfluoride (fluoriet)	1,432	1,434	1,437	1,439	44,2	0,125-9
diamant	2,408	2,417	2,435	2,457	24,4	0,25 - 80
glas	1,51	1,51	1,52	1,52	41,5	0,35-2,7
zwaar kroonglas	1,61	1,61	1,62	1,62	38,4	
zeer zwaar flintglas	1,88	1,89	1,92	1,94	31,9	
ijs (273 K)		1,309			49,8	
kalkspaat (gewone straal)	1,65	1,65	1,67	1,68	37,3	0,2-2
(buitengewone straal)	1,48	1,49	1,49	1,49	42,2	0,2-2
kwarts (gewone straal)	1,54	1,54	1,55	1,55	40,5	< 7
(buitengewone straal)	1,55	1,55	1,56	1,56	40,2	
perspex (plexiglas)	1,49	1,49	1,50	1,50	42,2	0,34-2

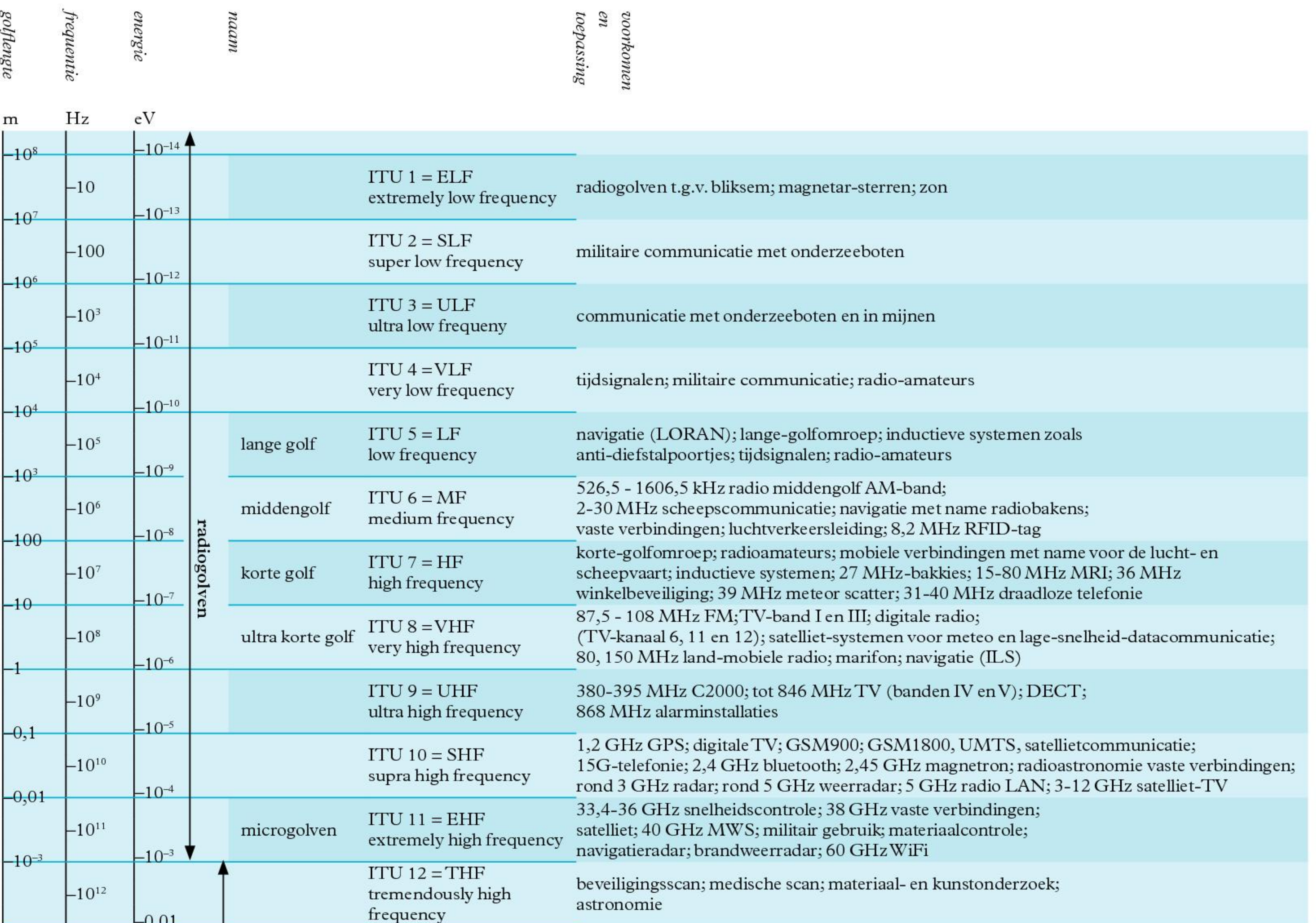
vloeistoffen	*brekingsindex t.o.v. lucht*				*grenshoek in graden*
golflengte →	687 nm	589 nm	486 nm	434 nm	589 nm
T = 293 K, $p = p_0$	*rood*	*geel*	*blauw*	*violet*	*geel*
aceton	1,357	1,359	1,364		47,4
alcohol [ethanol]	1,359	1,362	1,366	1,371	47,2
benzeen	1,494	1,501	1,513	1,520	41,8
cederolie	1,50	1,51			41,5
ether [ethoxyethaan]	1,350	1,353	1,357	1,361	47,4
fosfor in koolstofdisulfide	> 1,95				< 31
glycerol	1,466	1,469	1,475	1,480	42,9
keukenzoutoplossing (1 mol L^{-1})		1,38			46,4
koolstofdisulfide	1,615	1,628	1,652	1,677	37,9
tetra [tetrachloormethaan]	1,459	1,460	1,461	1,461	43,2
water	1,330	1,333	1,337	1,341	48,6

gassen	*brekingsindex t.o.v. vacuüm*
golflengte →	589 nm
T = 273 K, $p = p_0$	*geel*
helium	1,000 035
koolstofdioxide	1,000 449
lucht	1,000 292
waterdamp	1,000 256
zuurstof	1,000 271
zwaveldioxide	1,000 69

het oog (mens)	*brekingsindex t.o.v. lucht*
golflengte →	589 nm
T = 293 K, $p = p_0$	*geel*
glasachtig lichaam	1,337
hoornvlies	1,376
kamervocht	1,336
ooglens	1,41

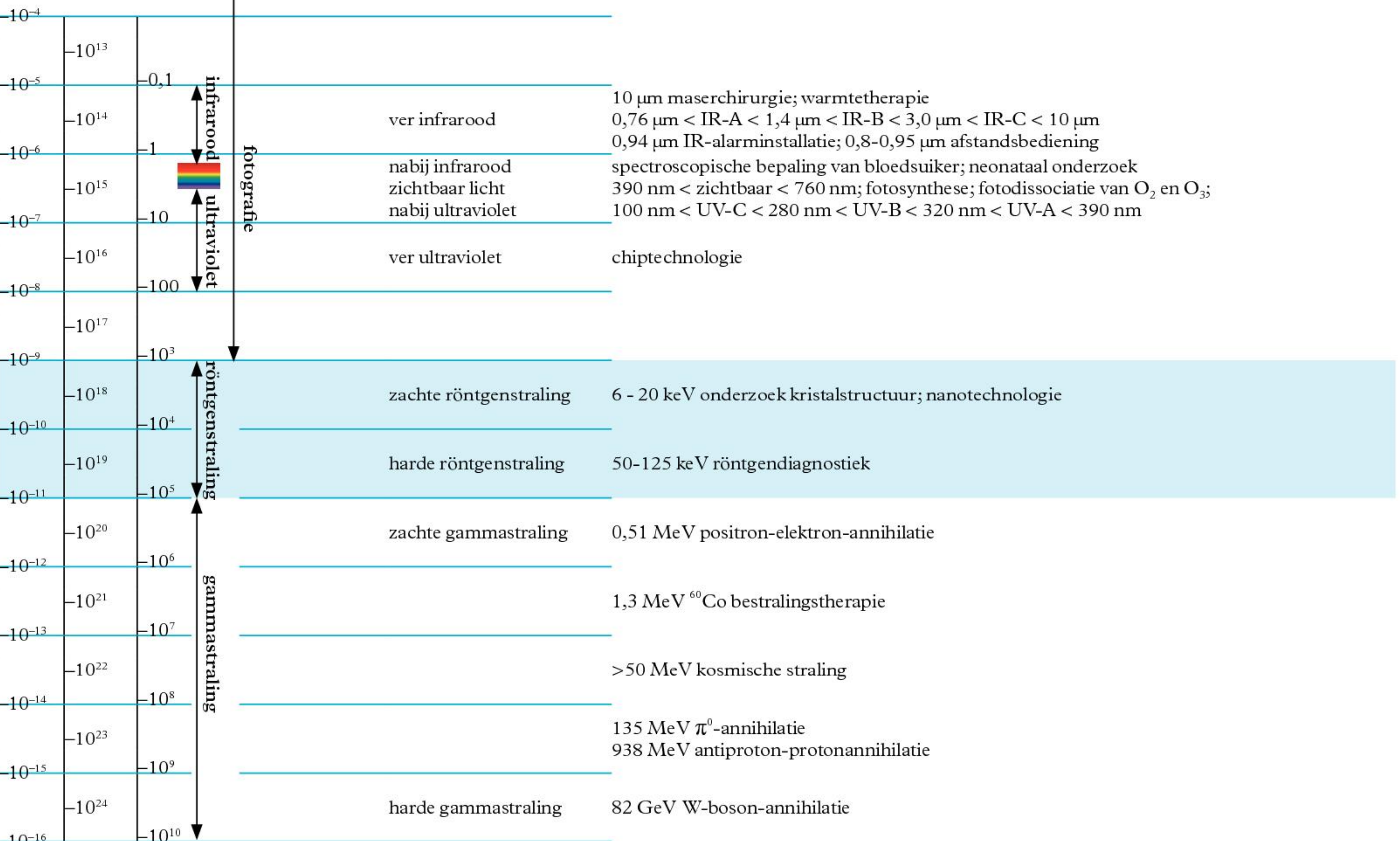


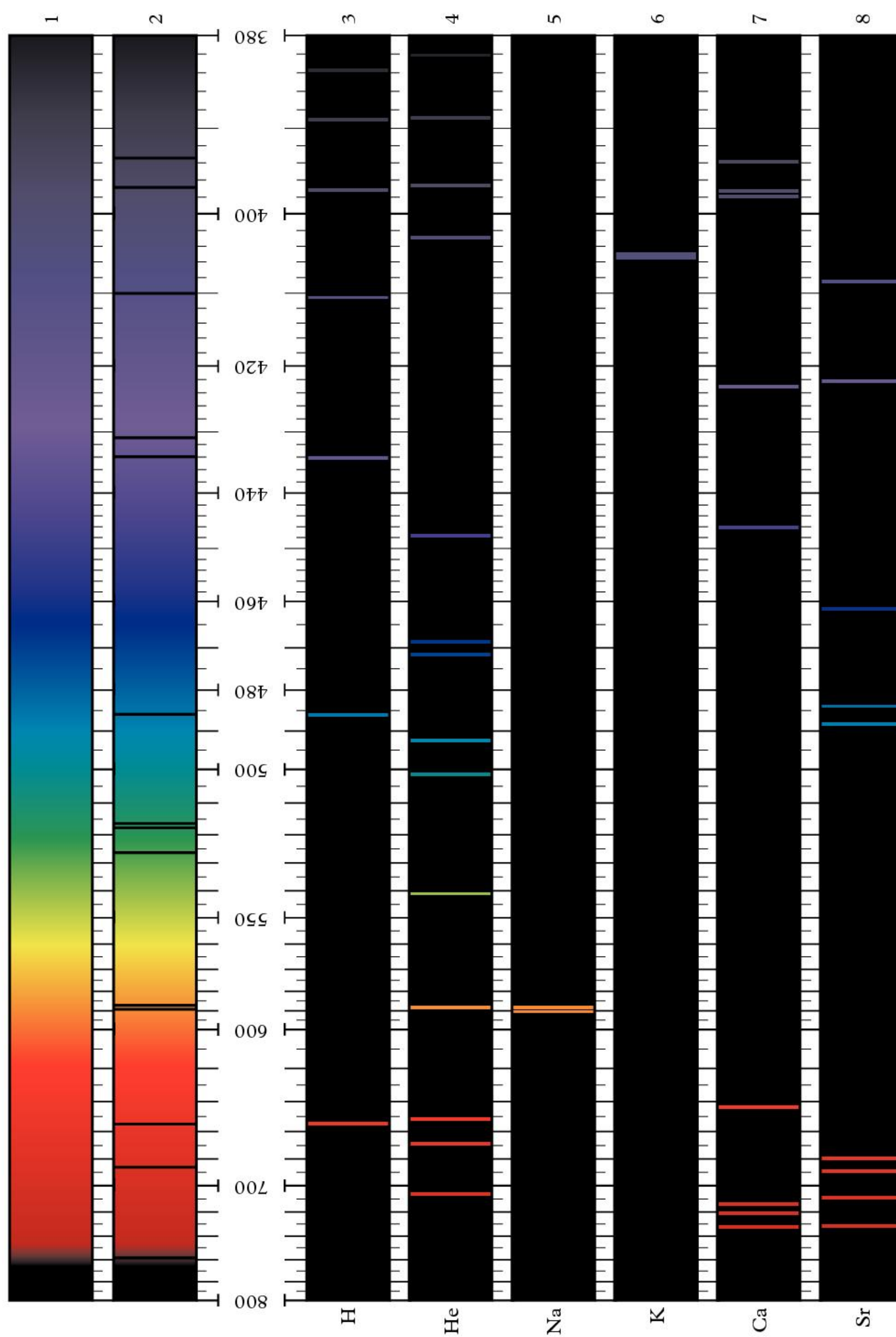
golflengte (in vacuüm)	*frequentie*	*energie*	*energie*
nm	10^{15} Hz	10^{-18} J	eV
750	0,400	0,265	1,65
730	0,411	0,272	1,70
700	0,428	0,284	1,77
680	0,441	0,292	1,82
650	0,461	0,306	1,91
630	0,476	0,315	1,97
600	0,500	0,331	2,07
590	0,508	0,337	2,10
570	0,526	0,348	2,18
550	0,545	0,361	2,25
530	0,566	0,374	2,34
510	0,588	0,389	2,43
500	0,600	0,397	2,48
480	0,625	0,414	2,58
450	0,666	0,441	2,76
420	0,714	0,473	2,95
400	0,749	0,497	3,10
380	0,789	0,523	3,26
350	0,857	0,568	3,54

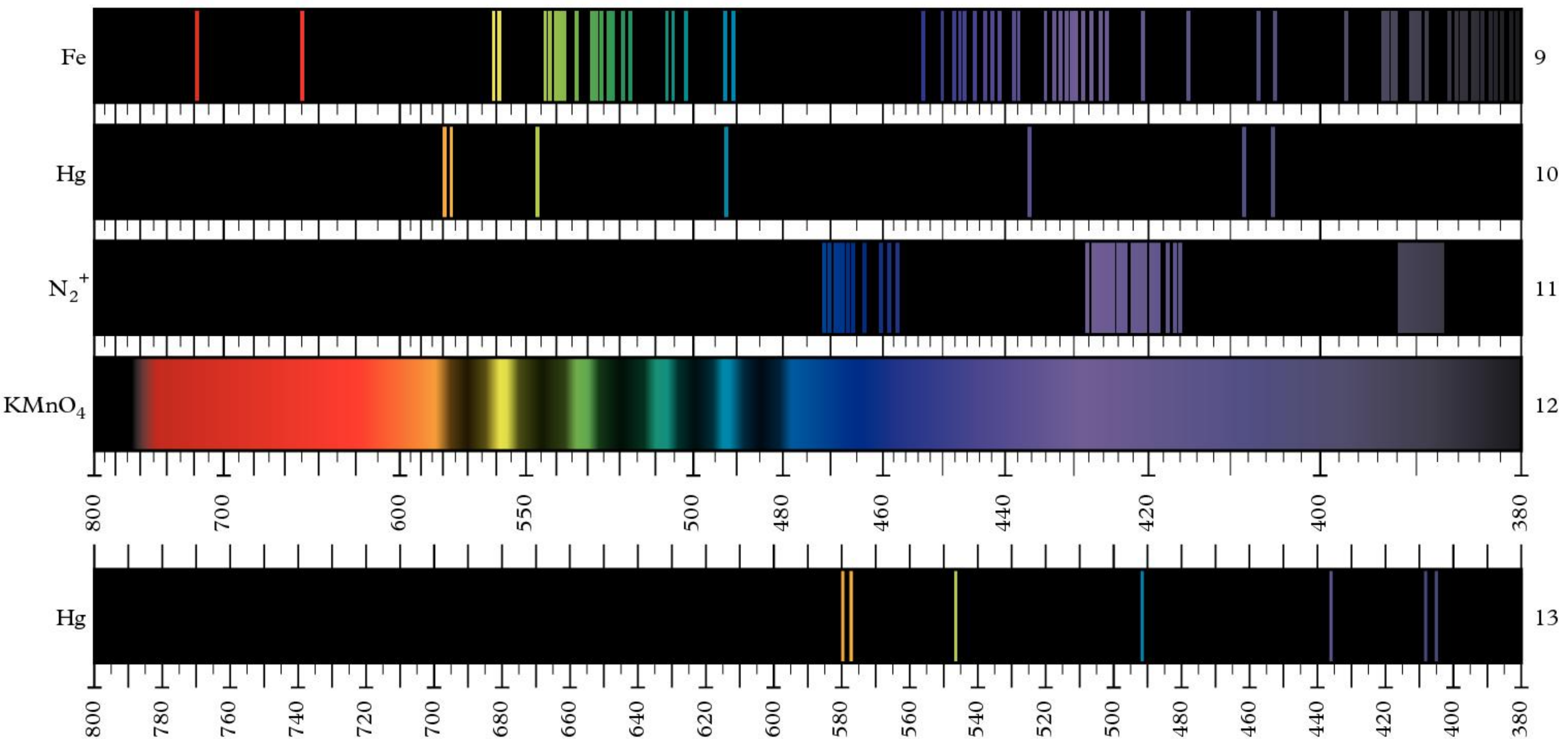


golflengte (m)	frequentie (Hz)	energie (eV)	naam	ITU	voorkomen en toepassing
10^8 – 10^7	10	10^{-14} – 10^{-13}		ITU 1 = ELF extremely low frequency	radiogolven t.g.v. bliksem; magnetar-sterren; zon
10^7 – 10^6	100	10^{-13} – 10^{-12}		ITU 2 = SLF super low frequency	militaire communicatie met onderzeeboten
10^6 – 10^5	10^3	10^{-12} – 10^{-11}		ITU 3 = ULF ultra low frequeny	communicatie met onderzeeboten en in mijnen
10^5 – 10^4	10^4	10^{-11} – 10^{-10}		ITU 4 = VLF very low frequency	tijdsignalen; militaire communicatie; radio-amateurs
10^4 – 10^3	10^5	10^{-10} – 10^{-9}	lange golf	ITU 5 = LF low frequency	navigatie (LORAN); lange-golfomroep; inductieve systemen zoals anti-diefstalpoortjes; tijdsignalen; radio-amateurs
10^3 – 100	10^6	10^{-9} – 10^{-8}	middengolf	ITU 6 = MF medium frequency	526,5 - 1606,5 kHz radio middengolf AM-band; 2-30 MHz scheepscommunicatie; navigatie met name radiobakens; vaste verbindingen; luchtverkeersleiding; 8,2 MHz RFID-tag
100 – 10	10^7	10^{-8} – 10^{-7}	korte golf	ITU 7 = HF high frequency	korte-golfomroep; radioamateurs; mobiele verbindingen met name voor de lucht- en scheepvaart; inductieve systemen; 27 MHz-bakkies; 15-80 MHz MRI; 36 MHz winkelbeveiliging; 39 MHz meteor scatter; 31-40 MHz draadloze telefonie
10 – 1	10^8	10^{-7} – 10^{-6}	ultra korte golf	ITU 8 = VHF very high frequency	87,5 - 108 MHz FM; TV-band I en III; digitale radio; (TV-kanaal 6, 11 en 12); satelliet-systemen voor meteo en lage-snelheid-datacommunicatie; 80, 150 MHz land-mobiele radio; marifon; navigatie (ILS)
1 – 0,1	10^9	10^{-6} – 10^{-5}		ITU 9 = UHF ultra high frequency	380-395 MHz C2000; tot 846 MHz TV (banden IV en V); DECT; 868 MHz alarminstallaties
0,1 – 0,01	10^{10}	10^{-5} – 10^{-4}		ITU 10 = SHF supra high frequency	1,2 GHz GPS; digitale TV; GSM900; GSM1800, UMTS, satellietcommunicatie; 15G-telefonie; 2,4 GHz bluetooth; 2,45 GHz magnetron; radioastronomie vaste verbindingen; rond 3 GHz radar; rond 5 GHz weerradar; 5 GHz radio LAN; 3-12 GHz satelliet-TV
0,01 – 10^{-3}	10^{11}	10^{-4} – 10^{-3}	microgolven	ITU 11 = EHF extremely high frequency	33,4-36 GHz snelheidscontrole; 38 GHz vaste verbindingen; satelliet; 40 GHz MWS; militair gebruik; materiaalcontrole; navigatieradar; brandweerradar; 60 GHz WiFi
10^{-3}	10^{12}	10^{-3} – 0,01		ITU 12 = THF tremendously high frequency	beveiligingsscan; medische scan; materiaal- en kunstonderzoek; astronomie

radiogolven: ITU 1 t/m ITU 11 (10^{-14} – 10^{-3} eV)


10⁻⁴
10⁻⁵
10⁻⁶
10⁻⁷
10⁻⁸
10⁻⁹
10⁻¹⁰
10⁻¹¹
10⁻¹²
10⁻¹³
10⁻¹⁴
10⁻¹⁵
10⁻¹⁶
10¹³
10¹⁴
10¹⁵
10¹⁶
10¹⁷
10¹⁸
10¹⁹
10²⁰
10²¹
10²²
10²³
10²⁴
0,1
1
10
100
10³
10⁴
10⁵
10⁶
10⁷
10⁸
10⁹
10¹⁰
infrarood
ultraviolet
fotografie
röntgenstraling
gammastraling
ver infrarood
10 μm maserchirurgie; warmtetherapie
0,76 μm < IR-A < 1,4 μm < IR-B < 3,0 μm < IR-C < 10 μm
0,94 μm IR-alarminstallatie; 0,8-0,95 μm afstandsbediening
nabij infrarood
zichtbaar licht
nabij ultraviolet
spectroscopische bepaling van bloedsuiker; neonataal onderzoek
390 nm < zichtbaar < 760 nm; fotosynthese; fotodissociatie van O_2 en O_3;
100 nm < UV-C < 280 nm < UV-B < 320 nm < UV-A < 390 nm
ver ultraviolet
chiptechnologie
zachte röntgenstraling
6 - 20 keV onderzoek kristalstructuur; nanotechnologie
harde röntgenstraling
50-125 keV röntgendiagnostiek
zachte gammastraling
0,51 MeV positron-elektron-annihilatie
1,3 MeV ^{60}Co bestralingstherapie
>50 MeV kosmische straling
135 MeV π^0-annihilatie
938 MeV antiproton-protonannihilatie
harde gammastraling
82 GeV W-boson-annihilatie


1
2
3
4
5
6
7
8
380
400
420
440
460
480
500
550
600
700
800
H
He
Na
K
Ca
Sr

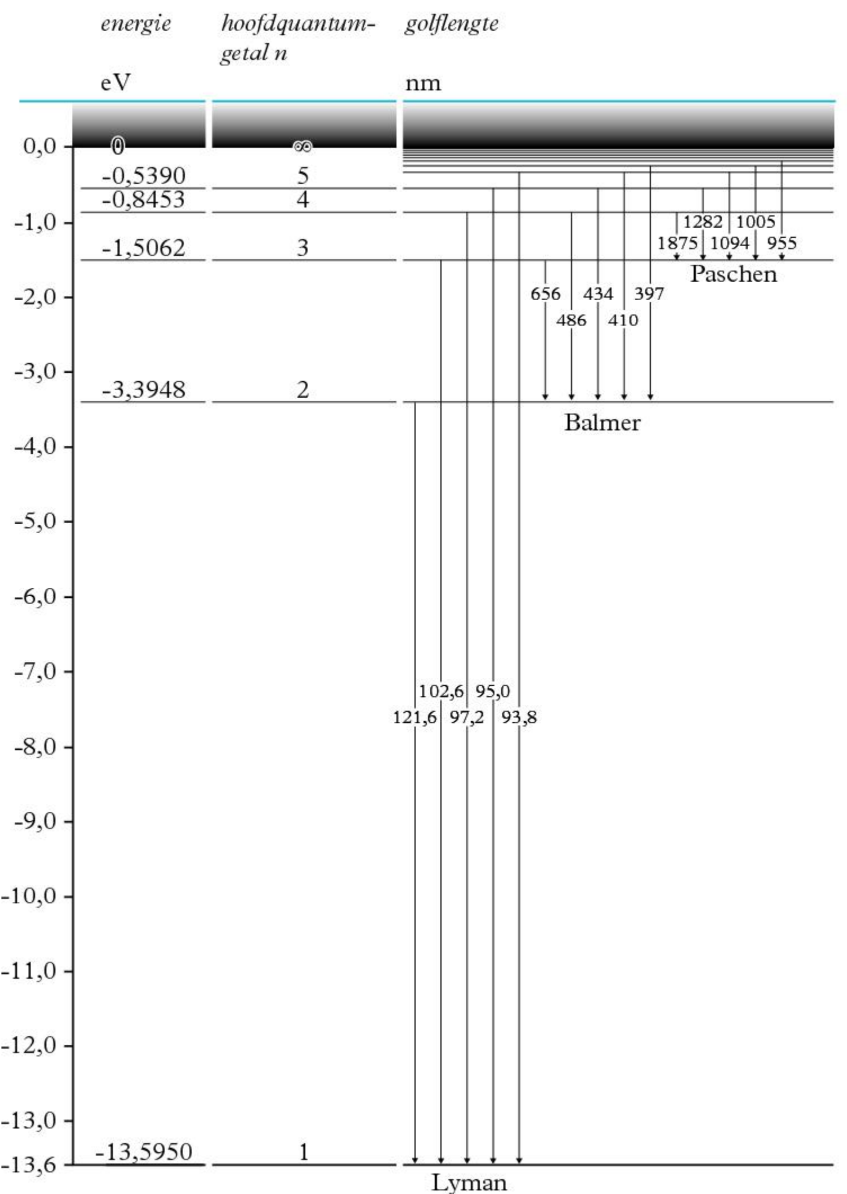


De golflengten zijn aangegeven in nm.

1-12 spectra ontworpen met behulp van een prisma
13 spectrum ontworpen met behulp van een tralie

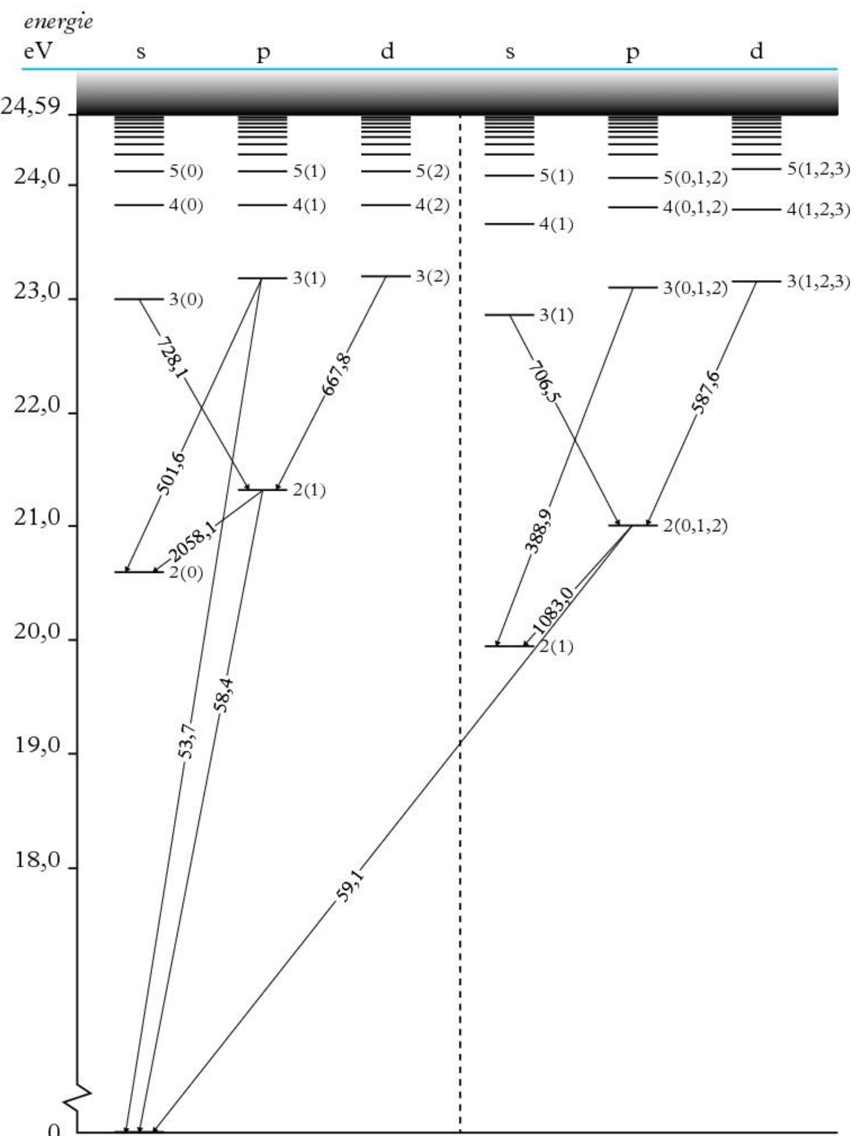
1 continu spectrum van een gloeiend voorwerp
2 zonnespectrum met fraunhoferlijnen
3-10 emissiespectra van enkele elementen
11 emissiebandenspectrum van N_2^+
12 absorptiebandenspectrum van $KMnO_4$
13 traliespectrum van kwikdamp

A Waterstof



De aangegeven golflengten gelden in vacuüm.

B Helium



De aangegeven golflengten gelden in vacuüm.

Ionisatie-energieën C

voor elektronen 1, 2, 3 … in eV

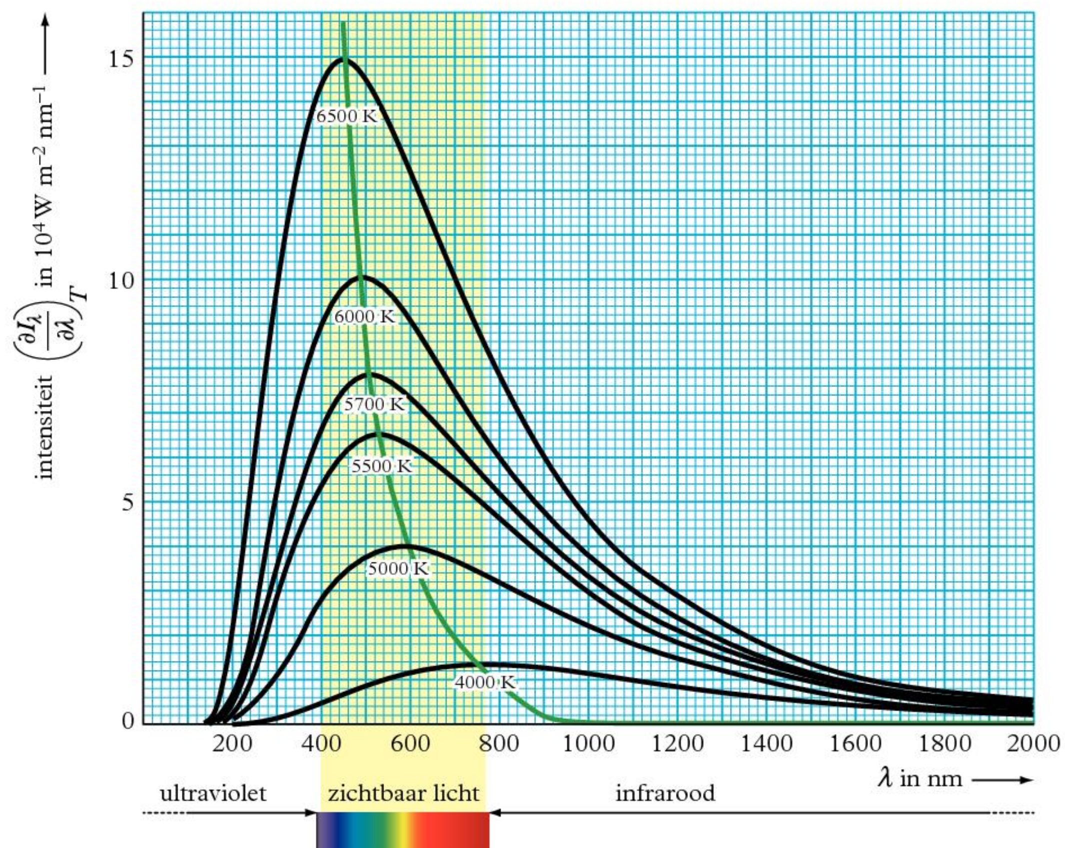
Z		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	H	13,60											
2	He	24,59	54,40										
3	Li	5,39	75,64	122,4									
4	Be	9,32	18,21	153,9	217,7								
5	B	8,30	25,16	37,9	259,3	340							
6	C	11,26	24,38	47,9	64,5	392	490						
7	N	14,53	29,60	47,4	77,5	98	552	667					
8	O	13,62	35,12	54,9	77,4	114	138	739	871				
9	F	17,42	34,98	62,7	87,2	114	157	185	936	1102			
10	Ne	21,57	40,96	63,5	97,2	126	158	207	239	1195	1360		
11	Na	5,14	47,29	71,8	98,9	139	172	208	264	300	1465	1646	
12	Mg	7,65	15,04	78,2	109,3	141	187	225	266	328	367	1761	1959
13	Al	5,99	18,83	28,4	120,0	154	190	242	285	330	399	442	2071
14	Si	8,15	16,35	33,5	45,1	167	205	246	304	352	401	476	523
15	P	10,49	19,72	30,2	51,4	65	220	263	309	373	425	476	560
16	S	10,36	23,40	34,8	47,3	73	88	281	328	379	449	506	567
17	Cl	12,97	23,80	39,9	53,3	68	97	114	349	400	455	531	593
18	Ar	15,76	27,62	40,9	59,8	75	91	124	143	423	479	539	620
19	K	4,34	31,81	45,9	61,1	83	99	118	154	176	504	563	629
20	Ca	6,11	11,87	51,2	67,3	84	109	128	143	188	211	592	657
36	Kr	14,00	24,56	36,9	52,5	65	79	111	126	234	300►		
37	Rb	4,18	27,50	40	52,6	71	84	99	136	150	277		
38	Sr	5,70	11,03	43,6	57,1	72	91	106	122	162	177	324	
54	Xe	12,13	21,21	32,1	45►	57►	89	102	126	218	238►		
55	Cs	3,89	25,10	34,6	46►	62►	74►	108	122	150	256		
56	Ba	5,21	10,00	37	49►	62►	80►	93►	127	144	158		
80	Hg	10,44	18,76	34,2	46►	61►	77►	94►	120►	139►	159►		
86	Rn	10,75	21,4	29,4	44►	55►	67►	97►	111►	166►	190►		

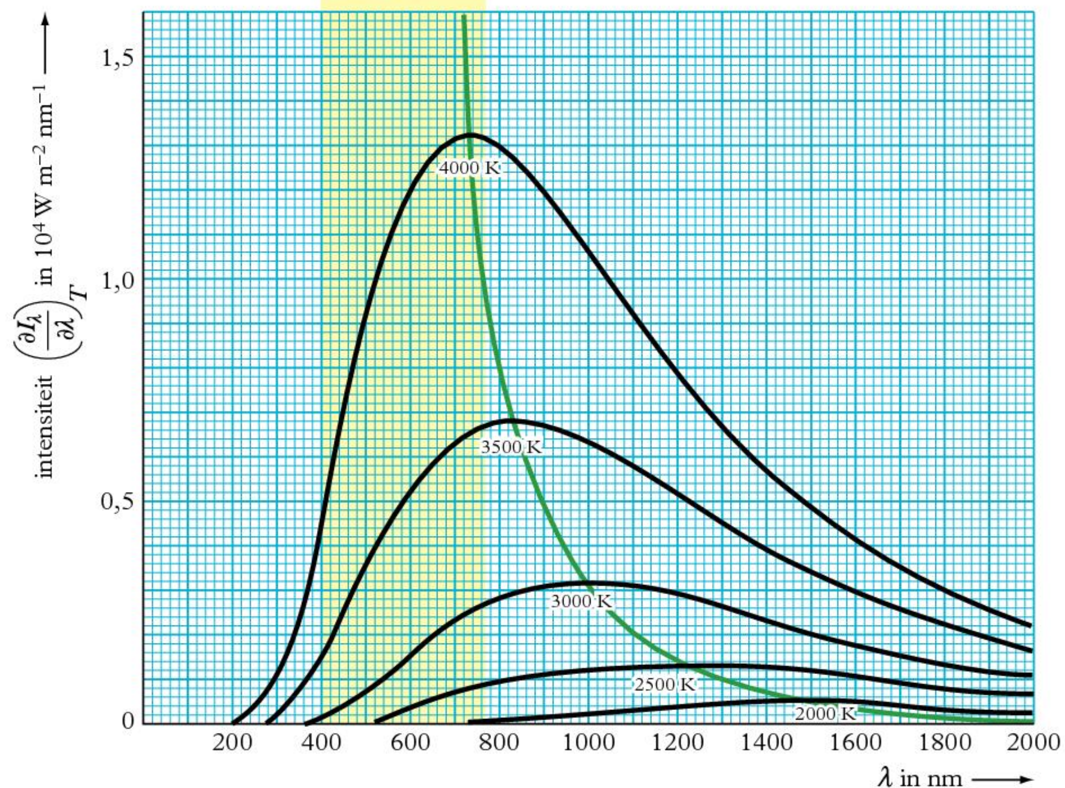
► berekende waarden

Plasma's D

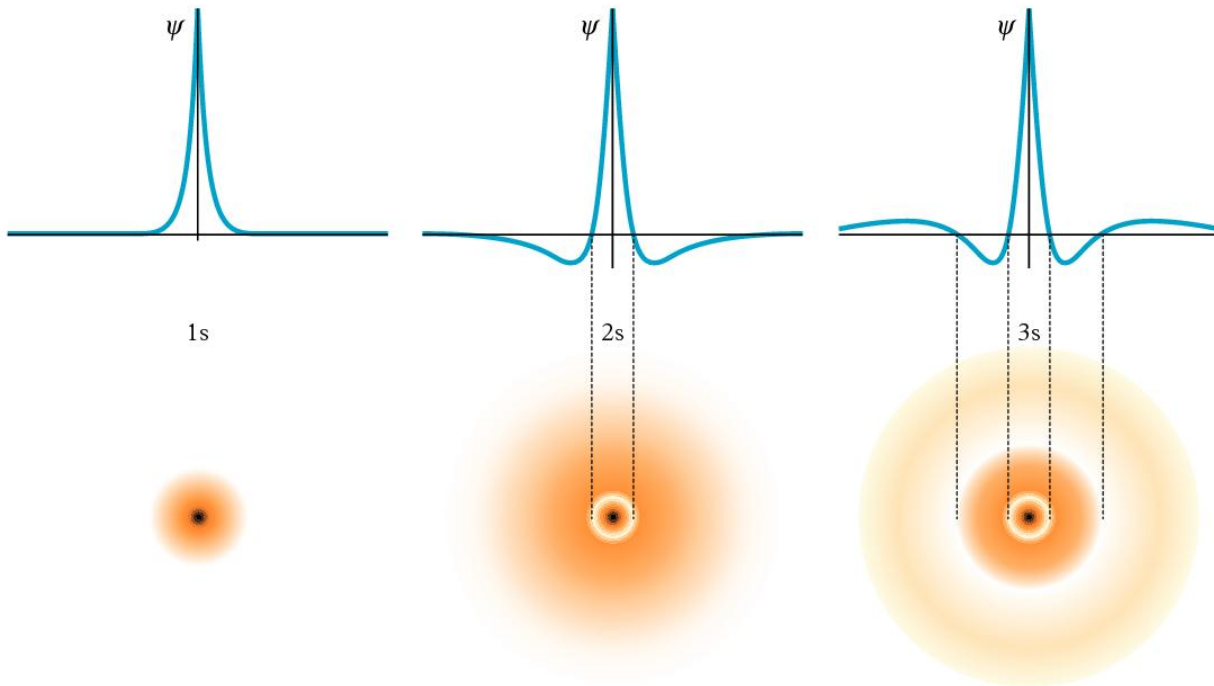
plasma	*elektronen-dichtheid*	*elektronen-temperatuur*	*toepassing*
	m^{-3}	eV k_B^{-1}	
zon (inwendig)	$5 \cdot 10^{31}$	$1{,}5 \cdot 10^{3}$	
zon (oppervlak)	10^{21}	0,6	
tokamak	10^{20}	10^{4}	energie-onderzoek
hogedruk-lamp	10^{22}	0,6	stadionverlichting
lasboog	10^{23}	1	lassen
lagedruk-lamp	$3 \cdot 10^{17}$	1 - 3	TL, spaarlamp
He-Ne-laser	10^{17}	3	practicum, bouwmeten, landmeten
gasvlam	10^{17}	0,1	eten koken

voor zwarte stralers

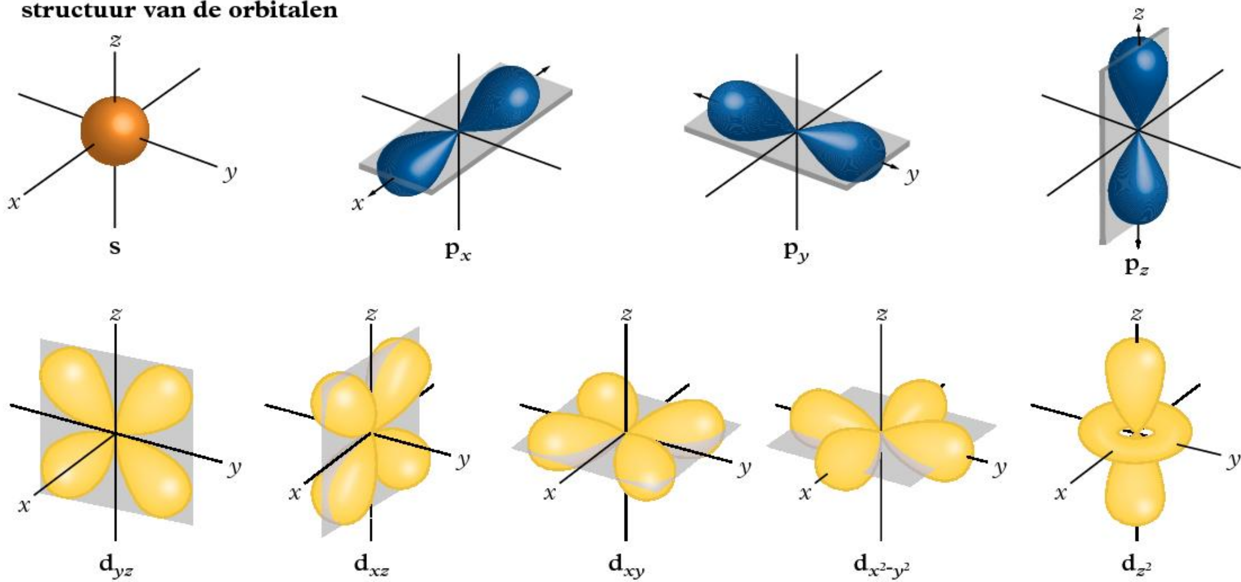




bolsymmetrische golffuncties met bijbehorende waarschijnlijkheidsverdeling



structuur van de orbitalen





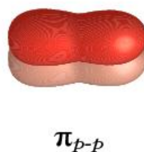
f



$\sigma_{s\text{-}s}$



$\sigma_{p\text{-}p}$



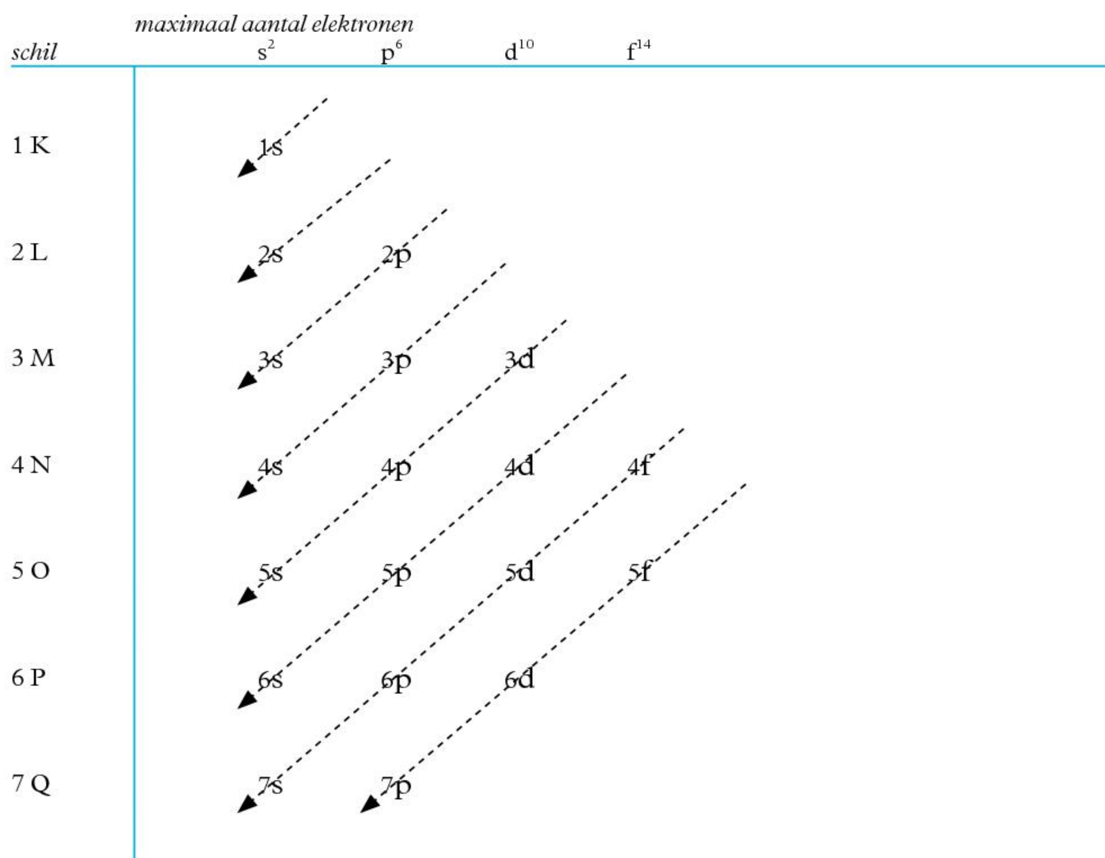
$\pi_{p\text{-}p}$

■ Covalente σ-, π-bindingen door overlapping van orbitalen.

vervolg ▶

23 Quantummechanica

Madelung energie ordening: opvulschema orbitalen



Voorbeelden: $_{28}$Ni: $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^8$
$_{55}$Cs: $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^{10}, 4p^6, 5s^2, 4d^{10}, 5p^6, 6s^1$

■ Zie ook tabel 99.

24 Foto-elektrisch effect

	uittree-energie	*grensfrequentie*	*grensgolflengte*
	eV	10^{15} Hz	nm
Ag	4,70	1,14	264
Al	4,20	1,02	295
Au	4,71	1,14	263
B	4,60	1,11	270
Ba	2,52	0,61	492
Be	3,92	0,95	316
C	4,36	1,05	284
Ca	3,20	0,77	387
Cd	4,04	0,98	307
Ce	2,88	0,70	431
Co	4,25	1,03	292
Cs	1,94	0,47	639
Cu	4,48	1,08	277
Fe	4,63	1,12	268
Ga	4,16	1,01	298
Ge	4,62	1,12	268

	uittree-energie	*grensfrequentie*	*grensgolflengte*
	eV	10^{15} Hz	nm
Hg	4,53	1,09	273
K	2,25	0,54	551
Li	2,46	0,59	504
Mg	3,70	0,89	335
Mn	3,95	0,95	314
Na	2,28	0,55	544
Ni	4,91	1,19	253
Pb	4,04	0,98	307
Rb	2,13	0,51	582
Sb	4,56	1,10	272
Sc	4,87	1,18	255
Si	3,59	0,87	345
Sr	2,74	0,66	452
Th	3,47	0,84	357
Ti	4,65	1,12	267
Zn	4,27	1,03	290

atoom-nummer	*symbool*	*massagetal*	*relatieve atoommassa*	*voorkomen (in de natuur)*	*halveringstijd*	*verval en energie van het deeltje* ►1
			u	%	s/min/h/d/y	MeV
0	n	1	1,008665		10,2 min	β^- en p^+
1	H	1	1,007825	99,989	$> 7 \cdot 10^{30}$ y	
		2	2,014102	0,011	–	–
		3	3,016049		12,3 y	β^- 0,018
2	He	3	3,016029	0,00014	–	–
		4	4,002603	100	–	–
		6	6,018889		0,807 s	β^- 3,5
3	Li	6	6,015122	7,59	–	–
		7	7,016004	92,41	–	–
		8	8,022486		0,838 s	β^- 12,0
4	Be	7	7,016929		54 d	γ, K-vangst ►2
		8	8,005305		10^{-16} s	2 α
		9	9,012182	100	–	–
		10	10,013534		$1,5 \cdot 10^6$ y	β^- 0,555
5	B	8	8,024607		0,770 s	β^+ 14
		10	10,012937	19,9	–	–
		11	11,009305	80,1	–	–
		12	12,014352		0,020 s	β^- 13,4, γ
6	C	10	10,016853		19,2 s	β^+ 2,2
		11	11,011433		20,4 min	β^+ 0,95, K-vangst
		12	12,000000 ►3	98,93	–	–
		13	13,003354	1,07	–	–
		14	14,003242		5730 y	β^- 0,156
7	N	12	12,01861		0,0110 s	β^+ 16,6
		13	13,00574		9,97 min	β^+ 0,92
		14	14,00307	99,63	–	–
		15	15,00011	0,37	–	–
		16	16,00610		7,13 s	β^- 10,0, γ
8	O	15	15,00307		122 s	β^+ 1,7
		16	15,99491	99,76	–	–
		17	16,99913	0,038	–	–
		18	17,99916	0,20	–	–
		19	19,00358		26,9 s	β^- 3,0, γ
9	F	19	18,99840	100	–	–
10	Ne	20	19,99244	90,48	–	–
		21	20,99384	0,27	–	–
		22	21,99138	9,25	–	–
		24	23,99361		3,38 min	β^- 1,4, γ
11	Na	22	21,99444		2,6 y	β^+ 1,8, γ
		23	22,98977	100	–	–
		24	23,99096		14,96 h	β^- 1,39, γ
12	Mg	22	21,99957		3,9 s	β^+ 4,8, K-vangst
		24	23,98504	78,99	–	–
		25	24,98584	10,00	–	–
		26	25,98259	11,01	–	–
		28	27,98388		20,9 h	β^- 0,460
13	Al	26	25,98689		$7,17 \cdot 10^7$ y	β^+ 2,99
		27	26,98154	100	–	–
		28	27,98191		2,4 min	β^- 3,0, γ
14	Si	28	27,97693	92,23	–	–
		29	28,97649	4,68	–	–

vervolg ►



atoom-nummer	*symbool*	*massagetal*	*relatieve atoommassa*	*voorkomen (in de natuur)*	*halveringstijd*	*verval en energie van het deeltje* ▸1
			u	%	s/min/h/d/y	MeV
14 (vervolg)	Si	30	29,97377	3,09	–	–
		31	30,97536		2,6 h	β^- 1,48
		32	31,97415		150 y	β^- 0,21
15	P	30	29,97831		2,50 min	β^+ 3,5
		31	30,97376	100	–	–
		32	31,97391		14,3 d	β^- 1,71
		33	32,97173		25,3 d	β^- 0,26
16	S	32	31,97207	94,93	–	–
		33	32,97146	0,76	–	–
		34	33,96787	4,29	–	–
		35	34,96903		87,3 d	β^- 0,167
		36	35,96708	0,02	–	–
		38	37,97116		2,84 h	β^- 1,10
17	Cl	34	33,97375		1,53 s	β^+ 4,5, γ
		35	34,96885	75,78	–	–
		36	35,96831		$3{,}01 \cdot 10^5$ y	β^- 0,66, β^+, K-vangst
		37	36,96590	24,22	–	–
		38	37,96801		37,2 min	β^- 4,81, γ
		39	38,96801		55,5 min	β^- 2,5
18	Ar	36	35,96755	0,34	–	–
		37	36,96678		35,0 d	K-vangst
		38	37,96273	0,06	–	–
		39	38,96431		269 y	β^- 0,565
		40	39,96238	99,6	–	–
19	K	39	38,96371	93,26	–	–
		40	39,96400	0,01	$1{,}28 \cdot 10^9$ y	β^- 1,33, K-vangst, γ
		41	40,96183	6,73	–	–
		42	41,96240		12,4 h	β^- 3,55, γ
20	Ca	40	39,96259	96,9	–	–
		41	40,96228		$1{,}1 \cdot 10^5$ y	K-vangst
		42	41,95862	0,65	–	–
		43	42,95877	0,14	–	–
		44	43,95549	2,1	–	–
		45	44,95619		163 d	β^- 0,256
		46	45,95369	0,004	–	–
		47	46,95455		4,54 d	β^- 1,4, γ
		48	47,95253	0,187	–	–
21	Sc	41	40,96925		0,60 s	β^+ 4,94
22	Ti	44	43,95969		0,67 y	K-vangst
23	V	50	49,94716	0,25	$1 \cdot 10^{17}$ y	β^-, γ
		51	50,94396	99,75	–	–
24	Cr	51	50,94477		27,7 d	γ, K-vangst
		52	51,94051	83,8	–	–
		53	52,94065	9,5	–	–
25	Mn	54	53,94036		312 d	K-vangst, γ
		55	54,93805	100	–	–
26	Fe	54	53,93961	5,85	–	–
		55	54,93830		2,7 y	K-vangst
		56	55,93494	91,75	–	–
		57	56,93540	2,12	–	–
		58	57,93328	0,28	–	–
		59	58,93488		45 d	β^- 1,56, γ

vervolg ▸

atoom-nummer	*symbool*	*massagetal*	*relatieve atoommassa*	*voorkomen (in de natuur)*	*halveringstijd*	*verval en energie van het deeltje* ▸1
			u	%	s/min/h/d/y	MeV
27	Co	56	55,93984		77 d	β^+ 1,5, γ, K-vangst
		57	56,93630		272 d	K-vangst, γ
		58	57,93576		70,9 d	β^+ 0,58, γ, K-vangst
		59	58,93320	100	–	–
		60	59,93382		5,27 y	β^- 0,315 (0,12% 1,48), γ
28	Ni	58	57,93535	68,1	–	–
		60	59,93079	26,2	–	–
		61	60,93106	1,1	–	–
		62	61,92835	3,6	–	–
		63	62,92967		100 y	β^- 0,062
		64	63,92797	0,9	–	–
		65	64,93009		2,5 h	β^- 2,10, γ
29	Cu	63	62,92960	69,17	–	–
		64	63,92977		12,7 h	β^- 0,573, β^+, K-vangst
		65	64,92779	30,83	–	–
30	Zn	64	63,92915	48,6	–	–
		65	64,92925		244 d	β^+ 0,33, K-vangst, γ
		66	65,92603	27,9	–	–
		67	66,92713	4,1		
		68	67,92485	18,8		
		69	68,92655		56 min	β^- 0,90
		70	69,92533	0,6	–	–
31	Ga	67	66,92821		3,26 d	K-vangst, γ
		69	68,92558	60,1	–	–
		71	70,92470	39,9	–	–
		72	71,92637		14,1 h	β^- 3,16
32	Ge	74	73,92118	35,94	–	–
33	As	74	73,92383		18 d	β^- 1,4, β^+ 0,94, γ
		75	74,92159	100	–	–
		76	75,92239		1,08 d	β^- 2,97
		77	76,92065		40 h	β^- 0,68
34	Se	80	79,91652	49,6	–	–
35	Br	79	78,91834	50,7	–	–
		80	79,91853		17,7 min	β^- 2,0, β^+
		81	80,91629	49,3	–	–
		82	81,91681		35,3 h	β^- 0,465, γ
		87	86,92034		55 s	β^- 8,0, γ
36	Kr	80	79,91638	2,25	–	–
		81	80,91659		$2{,}3 \cdot 10^5$ y	K-vangst
		81m ▸4	80,91681		13 s	γ
		82	81,91348	11,6	–	–
		83	82,91414	11,5	–	–
		84	83,91151	57,0	–	–
		85	84,91253		10,7 y	β^- 0,85, γ
		86	85,91062	17,3	–	–
		87	86,91336		76,3 min	β^- 3,8, γ
		89	88,91676		3,2 min	β^- 4,0
37	Rb	81	80,91900		4,6 h	β^- 1,05, K-vangst, γ
		85	84,91179	72,2	–	–
		86	85,91117		18,6 d	β^- 1,77, γ
		87	86,90919	27,8	$4{,}8 \cdot 10^{10}$ y	β^- 0,274

vervolg ▸

A Isotopentabel

atoom-nummer	*symbool*	*massagetal*	*relatieve atoommassa*	*voorkomen (in de natuur)*	*halveringstijd*	*verval en energie van het deeltje* ►[1]
			u	%	s/min/h/d/y	MeV
38	Sr	87	86,908 88	7,0	–	–
		88	87,905 62	82,6	–	–
		89	88,907 46		51 d	β^- 1,5, γ
		90	89,907 74		28 y	β^- 0,6
		94	93,915 23		1,3 min	β^- 2,1, γ
39	Y	88	87,909 51		107 d	β^+ 0,83, γ
		89	88,905 86	100	–	–
		90	89,905 85		64 h	β^- 2,3, γ
40	Zr	90	89,904 70	51,5	–	–
41	Nb	93	92,906 38	100	–	–
42	Mo	99	98,907 71		65,9 h	β^- 1,23, γ
43	Tc	99	98,906 25		$2,1 \cdot 10^5$ y	β^- 0,32
		99m ►[4]	98,906 40		6,0 h	γ
44	Ru	102	101,904 34	31,6	–	–
		103	102,906 32		40 d	β^- 6,84, γ
		104	103,905 42	18,6	–	–
45	Rh	103	102,905 50	100	–	–
46	Pd	107	106,905 13		–	–
47	Ag	107	106,905 09	51,8	–	–
		108	107,905 95		2,37 min	β^- 1,49, γ
		109	108,904 76	48,2	–	–
		110	109,906 11		25 s	β^- 2,8
48	Cd	108	107,904 18	0,9	–	–
		109	108,904 95		463 d	K-vangst, γ
		110	109,903 01	12,5	–	–
49	In	111	110,905 11		2,8 d	K-vangst, γ
		113	112,904 06	4,3	–	–
		114	113,904 92		72 s	β^- 2,0, K-vangst
		115	114,903 88	95,7	$4,4 \cdot 10^{14}$ y	β^- 0,50, γ
		116	115,905 23		13 s	β^- 2,8
50	Sn	113	112,905 17		115 d	K-vangst, γ
		115	114,903 35	0,34	–	–
		116	115,90175	14,53	–	–
		120	119,902 20	32,58	–	–
		121	120,904 23		27,1 h	β^- 0,4
51	Sb	121	120,903 82	57,2	–	–
		122	121,905 18		2,72 d	β^-, β^+ 1,98, γ
		123	122,904 22	42,8	–	–
52	Te	128	127,904 46	31,7	–	–
53	I	123	122,905 61		13,2 h	K-vangst, γ
		125	124,904 62		59 d	K-vangst, γ
		127	126,904 47	100	–	–
		128	127,905 87		25,0 min	β^- 2,02 γ
		131	130,906 12		8,0 d	β^- 0,60, γ
54	Xe	128	127,90353	1,92	–	–
		132	131,90414	26,9	–	–
		133	132,905 91		5,2 d	β^- 0,35, γ
		140	139,921 44		16 s	β^-, γ
55	Cs	133	132,905 43	100	–	–
		137	136,907 09		30 y	β^- 1,17, γ
56	Ba	133	132,906 00		10,8 y	K-vangst, γ

vervolg

atoom-nummer	*symbool*	*massagetal*	*relatieve atoommassa*	*voorkomen (in de natuur)*	*halveringstijd*	*verval en energie van het deeltje*[▸1]
			u	%	s/min/h/d/y	MeV
56 (vervolg)	Ba	137	136,905 81	11,2	–	–
		137m[▸4]	136,906 52		2,6 min	γ
		138	137,905 23	71,7	–	–
		140	139,910 60		12,8 d	β^- 1,02, γ
		144	143,922 67		11,9 s	β^-
57	La	138	137,907 11	0,09	$1{,}1 \cdot 10^{11}$ y	β^- 0,21, K-vangst
		140	139,909 47		1,7 d	β^- 1,35, γ
58	Ce	139	138,906 65		138 d	K-vangst, γ
		140	139,905 43	88,5	–	–
		141	140,908 22		32 d	β^- 0,56, γ
		142	141,909 25	11,1	$5 \cdot 10^{16}$ y	–
59	Pr	141	140,907 65	100	–	–
60	Nd	142	141,907 72	27,2	–	–
61	Pm	145	144,912 74		17,7 y	α, K-vangst
62	Sm	147	146,914 91	15,0	17,7 y	α 2,1, β^- 0,210, γ
63	Eu	152	151,921 74		13,5 y	β^-, K-vangst
64	Gd	158	157,924 02	24,8	–	–
65	Tb	158	157,925 41		180 y	β^-, K-vangst
66	Dy	154	153,924 42		$3 \cdot 10^{6}$ y	α
67	Ho	163	162,928 73		4570 y	K-vangst
68	Er	169	168,934 59		9,40 d	β^-
69	Tm	171	170,936 43		1,92 y	β^-
70	Yb	169	168,935 19		32,03 d	K-vangst
71	Lu	176	175,942 68	2,6	$2{,}2 \cdot 10^{10}$ y	β^- 0,430, γ
72	Hf	180	179,946 55	35,1	–	–
		181	180,949 10		43 d	β^- 0,41, γ
73	Ta	181	180,947 99	99,99	–	–
		182	181,950 15		115 d	β^- 0,53, γ
74	W	184	183,950 93	30,7	–	–
		185	184,953 42		74 d	β^- 0,43, γ
		186	185,954 36	28,6	–	–
75	Re	183	182,950 82		70 d	K-vangst
76	Os	194	193,965 18		6,0 y	β^-
77	Ir	191	190,960 58	37,3	–	–
		192	191,962 60		74 d	β^-, β^+, γ
		193	192,962 92	62,7	–	–
78	Pt	195	194,964 77	33,8	–	–
79	Au	192	191,964 62		4,0 h	β^- 1,9, K-vangst, γ
		197	196,966 54	100	–	–
80	Hg	202	201,970 62	29,9	–	–
		203	202,972 88		46,5 d	β^- 0,208, γ
		204	203,973 47	6,9	–	–
		205	204,976 21		5,5 min	β^- 1,75
81	Tl	203	202,972 32	29,5	–	–
		204	203,973 85		2,7 y	β^- 0,76, K-vangst
		205	204,974 40	70,5	–	–
		206	205,976 10		4,2 min	β^- 1,8
		207	206,977 45		4,76 min	β^- 1,47, γ
		208	207,982 01		3,1 min	β^- 1,82, γ
		209	208,985 30		2,2 min	β^- 1,8
		210	209,990 05		1,32 min	β^- 1,80

vervolg ▶



atoom-nummer	symbool	massagetal	relatieve atoommassa	voorkomen (in de natuur)	halveringstijd	verval en energie van het deeltje ►1
			u	%	s/min/h/d/y	MeV
82	Pb	204	203,973 02	1,4	$1{,}4 \cdot 10^{17}$ y	γ
		206	205,974 44	24,1	–	–
		207	206,975 87	22,1	–	–
		208	207,976 63	52,4	–	–
		209	208,981 09		3,3 h	β^- 0,644
		210	209,984 17		22,6 y	β^- 0,025, γ
		211	210,988 73		36,1 min	β^- 0,5, γ
		212	211,991 87		10,6 h	β^- 0,59, γ
		214	213,999 77		26,8 min	β^- 0,65, γ
83	Bi	207	206,978 46		35 y	K-vangst, γ
		209	208,980 40	100	–	–
		210	209,984 11		5,0 d	α 5,0, β^-, γ
		211	210,987 30		2,16 min	α 6,62, β^-, γ
		212	211,991 27		60,6 min	α 6,09, β^-, γ
		213	212,994 32		45,6 min	α 6,0, β^- 1,4
		214	213,998 69		19,9 min	α 5,6, β^- 3,3
84	Po	209	208,982 40		102 y	α 4,09
		210	209,982 86		138 d	α 5,4, γ
		211	210,986 66		0,5 s	α 7,434
		212	211,988 87		$3 \cdot 10^{-7}$ s	α 8,776
		213	212,992 83		$3{,}2 \cdot 10^{-6}$ s	α 8,3
		214	213,995 19		$1{,}6 \cdot 10^{-4}$ s	α 7,68
		215	214,999 42		$1{,}83 \cdot 10^{-3}$ s	α 7,365
		216	216,001 90		0,158 s	α 6,774, β^-
		218	218,008 93		3,05 min	α 5,998, β^-
85	At	215	214,998 66		10^{-4} s	α 8,04
		216	216,002 41		$3 \cdot 10^{-4}$ s	α 7,64
		217	217,004 65		$2 \cdot 10^{-3}$ s	α 7,0
		218	218,008 61		2 s	α 6,63
86	Rn	218	218,005 59		$1{,}9 \cdot 10^{-3}$ s	α 7,1
		219	219,009 48		3,92 s	α 6,824
		220	220,011 38		55,6 s	α 6,4
		222	222,017 57		3,825 d	α 5,486
87	Fr	221	221,014 25		4,8 min	α 6,3
		223	223,019 73		21 min	β^- 1,2, γ
		224	224,023 23		3,0 min	β^- 2,8, γ
88	Ra	223	223,018 50		11,2 d	α 5,719, γ
		224	224,020 20		3,64 d	α 5,7
		226	226,025 40		$1{,}60 \cdot 10^{3}$ y	α 4,79, γ
		228	228,031 06		5,75 y	β^- 0,046
89	Ac	225	225,023 22		10,0 d	α 5,8
		227	227,027 75		27,7 y	α 4,94, β^- 0,04, γ
		228	228,031 10		6,13 h	α 4,54, β^-, γ
90	Th	227	227,027 70		18,7 d	α 6,05, γ
		228	228,028 73		1,9 y	α 5,42, γ
		229	229,031 75		7900 y	α 5,02
		230	230,033 13		$7{,}5 \cdot 10^{4}$ y	α 4,68, γ
		231	231,036 30		1,06 d	β^- 0,302, γ
		232 ►5	232,038 05	100	$1{,}4 \cdot 10^{10}$ y	α 3,98, γ
		233	233,041 58		22,2 min	β^- 1,23
		234	234,043 60		24,1 d	β^- 0,192, γ

vervolg ►

atoom-nummer	*symbool*	*massagetal*	*relatieve atoommassa*	*voorkomen (in de natuur)*	*halveringstijd*	*verval en energie van het deeltje* ►1
			u	%	s/min/h/d/y	MeV
91	Pa	231	231,035 88		$3{,}25 \cdot 10^4$ y	α 4,66
		233	233,040 24		27,0 d	β^- 0,53
		234	234,043 30		6,69 h	β^- 2,2
92	U	233	233,0396 3		$1{,}6 \cdot 10^5$ y	α 4,83, β^-, K-vangst, γ
		234	234,0409 5	0,006	$2{,}5 \cdot 10^5$ y	α 4,76
		235 ►6	235,0439 2	0,72	$7{,}04 \cdot 10^8$ y	α 4,52
		236	236,045 56		$2{,}34 \cdot 10^7$ y	α 4,49, γ
		238 ►7	238,0507 8	99,274	$4{,}46 \cdot 10^9$ y	α 4,18, γ
93	Np	237	237,048 17		$2{,}14 \cdot 10^6$ y	α 4,77, γ
		239	239,052 93		2,4 d	β^- 0,57, γ
94	Pu	239	239,052 16		$2{,}4 \cdot 10^4$ y	α 5,2, γ
		240	240,053 81		6561 y	α 5,1
		241 ►8	241,056 84		14 y	α 4,91, β^-
		244	244,064 20		$8{,}2 \cdot 10^7$ y	α 4,7
95	Am	241	241,056 82		432 y	α 5,6, γ
		243	243,061 38		$7{,}4 \cdot 10^3$ y	α 5,4, γ
96	Cm	245	245,0655		$8{,}5 \cdot 10^3$ y	α 5,6, γ
		247	247,0704		$1{,}6 \cdot 10^7$ y	α 5,4, γ
97	Bk	247	247,0703		1400 y	α 5,9
98	Cf	251	251,0796		898 y	α 6,2
99	Es	252	252,0829		1,29 y	α, β^-, K-vangst,
100	Fm	249	249,0789		3 min	α 7,5, K-vangst
		257	257,0951		100 d	α 6,5, γ
101	Md	255	255,0911		27 min	α 7,30, K-vangst
		257	257,0955		5,5 h	K-vangst, α 7,2
102	No	259	259,1009		58 min	α, K-vangst
103	Lr	257	257,0996		0,7 s	α 8,6, K-vangst
104	Rf	259	259,1055		3 s	α 9,2
		260	260,1063		$20 \cdot 10^{-3}$ s	splijting
105	Db	260	260,1114		1,5 s	α 9,1
		262	262,1138		34 s	α 8,5, splijting
106	Sg	259	259,1147		0,5 s	α 9,6, splijting
		263	263,1182		0,8 s	α 9,1, splijting
107	Bh	261	261,1218		$12 \cdot 10^{-3}$ s	α 10,4, splijting
108	Hs	267	267,1318		$60 \cdot 10^{-3}$ s	α 9,8
109	Mt	268	268,1388		0,07 s	α 10
110	Ds	271	271,1461		0,06 s	α
111	Rg	272	272,1536		$1{,}5 \cdot 10^{-3}$ s	α
112	Cn	277	277,1640		$0{,}24 \cdot 10^{-3}$ s	α
113	Nh	286			9,5 s	α
114	Fl	290			19 s	α
115	Mc	290			0,65 s	α
116	Lv	293			0,05 s	α
117	Ts	293			0,05 s	α
118	Og	294			$0{,}6 \cdot 10^{-3}$ s	α

■ Blauwe achtergrond betekent: van dit element zijn niet alle in de natuur voorkomende isotopen in de tabel opgenomen.

1 ► De opgegeven energie bij het β^- of β^+-verval is de maximale energie.

2 ► K-vangst heet in de Engelstalige literatuur EC, Electron Capture. Het elektron dat wordt ingevangen is meestal uit de K-schil afkomstig.

3 ► per definitie

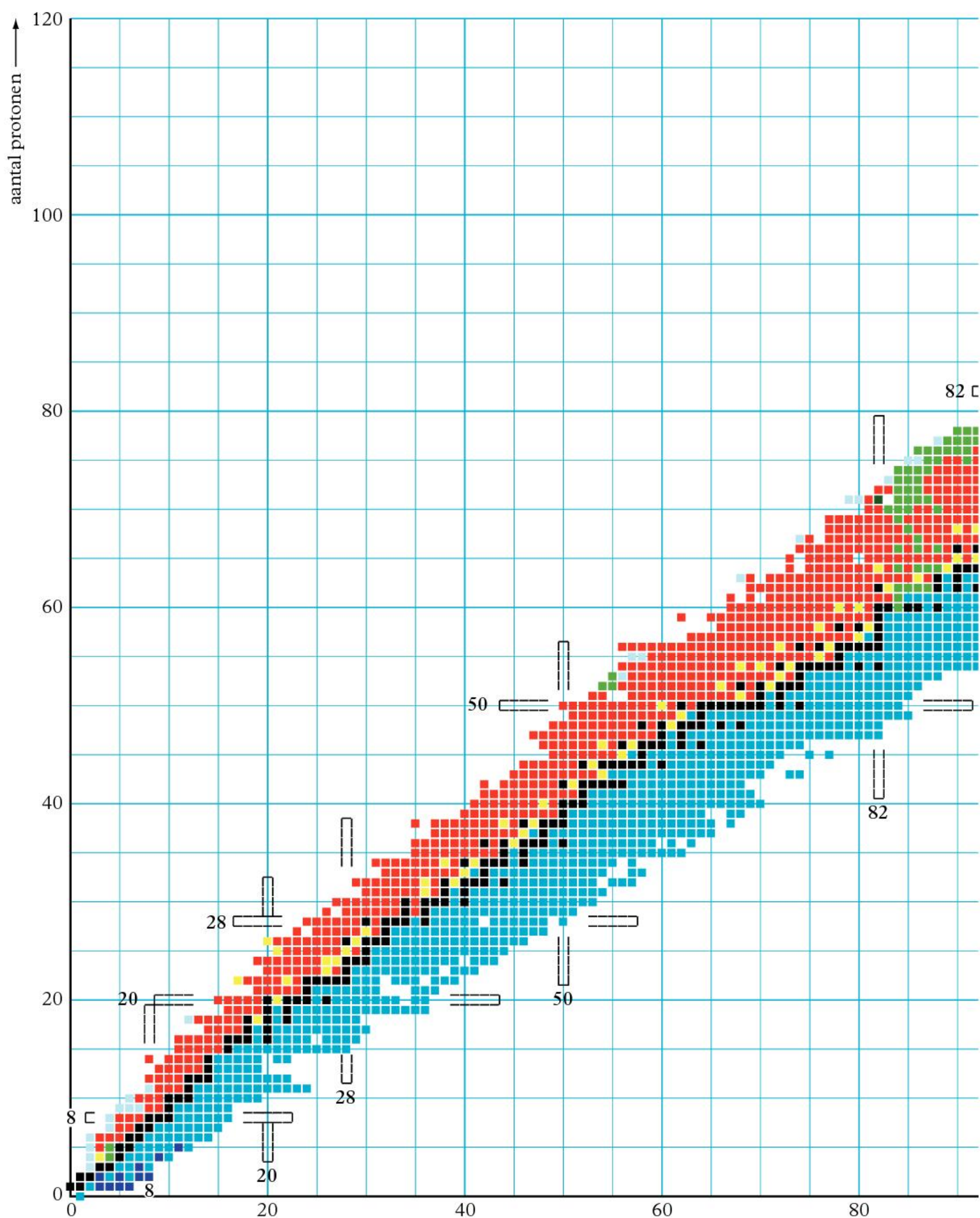
4 ► m betekent: isomeer

5 ► thoriumreeks

6 ► actiniumreeks

7 ► uraanreeks

8 ► neptuniumreeks

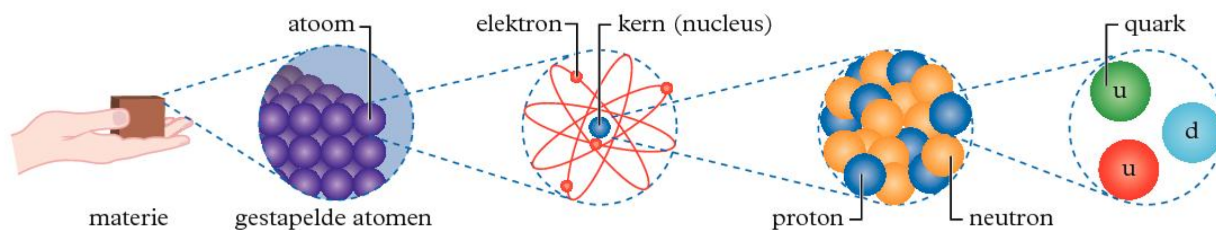


Zeer stabiele isotopen: het aantal neutronen of protonen is gelijk aan een magisch getal (2, 8, 20, 28, 50, 82 of 126).

82
126
stabiel
α
β+
K-vangst
β-
splijting
neutron
proton
100
120
140
160
180
aantal neutronen ⟶

26 Bouw en structuur van de materie

A Elementaire deeltjes



		generatie I		generatie II		generatie III		
massa ▸	→	2,2 MeV c^{-2}	**u**	1,3 GeV c^{-2}	**c**	173 GeV c^{-2}	**t**	quarks
lading	→	$\frac{2}{3}$ e	up	$\frac{2}{3}$ e	charm	$\frac{2}{3}$ e	top	quarks
massa ▸	→	4,7 MeV c^{-2}	**d**	0,093 GeV c^{-2}	**s**	4,2 GeV c^{-2}	**b**	quarks
lading	→	$-\frac{1}{3}$ e	down	$-\frac{1}{3}$ e	strange	$-\frac{1}{3}$ e	bottom	quarks
massa ▸	→	< 1,0 eV c^{-2}	ν_e	< 0,17 MeV c^{-2}	ν_μ	< 18,2 MeV c^{-2}	ν_τ	leptonen
lading	→	0	elektronneutrino	0	muonneutrino	0	tauneutrino	leptonen
massa ▸	→	0,511 MeV c^{-2}	**e**	105,66 MeV c^{-2}	**μ**	1777 MeV c^{-2}	**τ**	leptonen
lading	→	-1 e	elektron	-1 e	muon	-1 e	tau	leptonen

■ Alle twaalf deeltjes hebben een antideeltje met dezelfde massa maar tegengestelde lading. Het antideeltje van up heet anti-up: $\overline{\text{u}}$, etc.

▶ massa-equivalent: 1u = 1,66054 · 10^{-27} kg ≙ 931,49 MeV (zie tabel 7A)

B Wisselwerkingsdeeltjes

naam	*symbool*	*massa* GeV c^{-2}	*lading* e	*spin*	*kracht*	*relatieve sterkte*	*werkend tussen*
gluon	g	0	0	1	sterke kernkracht	1	quarks, gluonen
foton	γ	0	0	1	elektromagnetische kracht	$\frac{1}{137}$	geladen deeltjes
W-plus	W^+	80,4	+1	1			
W-min	W^-	80,4	-1	1	zwakke kernkracht	10^{-13}	quarks, leptonen
Z-nul	Z^0	91,2	0	1			
graviton ▸		0	0	0	zwaartekracht	10^{-38}	deeltjes met energie
Higgs	H^0	125,4	0	0			deeltjes met massa

■ oranje: vectorbosonen (spin 1); geel: scalaire bosonen (spin 0)

▶ Het graviton is nog niet aangetoond.

mesonen (voorbeelden; heeltallige spin: bosonen)

naam	*symbool*	*samenstelling*	*massa*	*lading*	*gemiddelde levensduur*	*mogelijk verval*		
			MeV c^{-2}	*e*	s			
pion	π^+	$u\bar{d}$	139,57	+1	$2{,}6 \cdot 10^{-8}$	$\mu^+ + \nu_\mu$		
	π^0	$u\bar{u}$ / $d\bar{d}$	134,98	0	$8{,}5 \cdot 10^{-17}$	2γ	$\gamma + e^+ + e^-$	
kaon	K^+	$u\bar{s}$	493,68	+1	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$	$\mu^+ + \nu_\mu$	$\pi^+ + \pi^0$	$\pi^+ + \pi^+ + \pi^-$
	K^0	$d\bar{s}$	497,61	0		50 % $K_1^{\,0}$, 50 % $K_2^{\,0}$		
	$K_1^{\,0}$	$d\bar{s}$ / $s\bar{d}$	498	0	$8{,}95 \cdot 10^{-11}$	$\pi^+ + \pi^-$	$\pi^0 + \pi^0$	
	$K_2^{\,0}$	$d\bar{s}$ / $s\bar{d}$	498	0	$5{,}12 \cdot 10^{-8}$	$3\pi^0$	$\pi^+ + \pi^- + \pi^0$	$\pi^+ + \mu^- + \bar{\nu}_\mu$
η_c-meson	η_c	$c\bar{c}$	2981	0	$2{,}2 \cdot 10^{-23}$	$\eta + \pi^+ + \pi^-$	$K + \overline{K} + n\eta$	$3(\pi^+ + \pi^-)$
J/ψ-meson	J/ψ	$c\bar{c}$	3096,92	0	$7{,}1 \cdot 10^{-21}$	$n(\pi^+ + \pi^-) + \pi^0$	$K + \overline{K} + \pi$	$e^+ + e^-$ $\mu^+ + \mu^-$
D-meson	D^+	$c\bar{d}$	1869,5	+1	$1{,}0 \cdot 10^{-12}$	$K^0 + \pi^0 + \pi^+$	$K^- + \pi^+ + \pi^+$	
	D^0	$u\bar{c}$ of $c\bar{u}$	1864,8	0	$4{,}1 \cdot 10^{-13}$	$K^- + \pi^+ + \pi^0$		
	$D_s^{\,+}$	$c\bar{s}$	1968,5	+1	$5{,}0 \cdot 10^{-13}$	$K^+ + K^- + \pi^+$		
	$D_s^{\,*+}$	$c\bar{s}$	2112,3	+1		$D_s^{\,+} + \gamma$	$D_s^{\,+} + \pi^0$	
B-meson	B^+	$u\bar{b}$	5279	+1	$1{,}6 \cdot 10^{-12}$	$e^+ + \nu_e$		
	B^0	$d\bar{b}$	5279,5	0	$1{,}5 \cdot 10^{-12}$			
	$B_s^{\,0}$	$s\bar{b}$	5366,8	0	$1{,}5 \cdot 10^{-12}$			

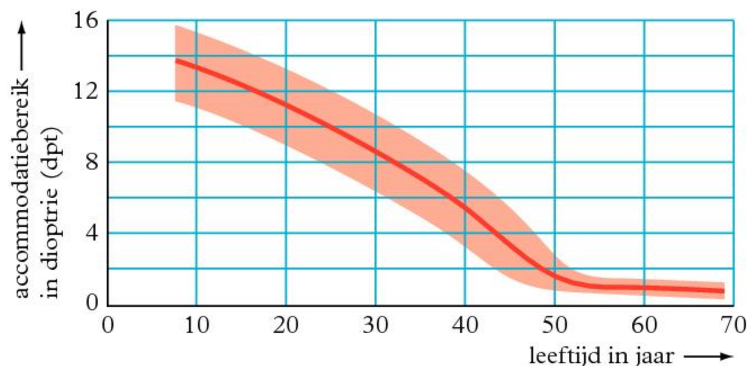
baryonen (voorbeelden; halftallige spin: fermionen)

naam	*symbool*	*samenstelling*	*massa*	*lading*	*gemiddelde levensduur*	*mogelijk verval*		
			MeV c^{-2}	*e*	s			
proton	p^+	uud	938,272 ▸	+1	$> 1{,}8 \cdot 10^{37}$			
neutron	n	udd	939,565 ▸	0	882	$p^+ + \pi^-$	$p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$	
labda	Λ^0	uds	1115,68	0	$2{,}6 \cdot 10^{-10}$	$p^+ + \pi^-$	$n + \pi^0$	
sigma	Σ^+	uus	1189,37	+1	$8{,}0 \cdot 10^{-11}$	$p^+ + \pi^0$	$n + \pi^+$	
	Σ^0	uds	1192,64	0	$7{,}4 \cdot 10^{-20}$	$\Lambda^0 + \gamma$		
	Σ^-	dds	1197,45	-1	$1{,}5 \cdot 10^{-10}$	$n + \pi^-$		
xi	Ξ^0	uss	1314,9	0	$2{,}9 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda^0 + \pi^0$		
	Ξ^-	dss	1321,7	-1	$1{,}6 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda^0 + \pi^-$		
omega	$^-$	sss	1672,5	-1	$8{,}2 \cdot 10^{-11}$	$\Lambda^0 + K^-$	$\Xi^0 + \pi^-$	$\Xi^- + \pi^0$
labda-c	$\Lambda_c^{\,+}$	udc	2286,5	+1	$2{,}0 \cdot 10^{-14}$	$p^+ + K^0$	$p^+ + K^- + \pi^+$	$p^+ + K^0 + \pi^0$
xi-cc	$\Xi_{cc}^{\,++}$	dcc	3621,6	+2	$2{,}6 \cdot 10^{-13}$	$\Lambda_c^{\,+} + K^- + 2\,\pi^+$		$p^+ + K^- + 2\,\pi^+$
labda-b	$\Lambda_b^{\,0}$	udb	5620,2	0	$1{,}4 \cdot 10^{-12}$	$p^+ + D^0 + \pi^-$	$\Lambda_c^{\,+} + \pi^-$	$\Lambda_c^{\,+} + \pi^+ + 2\,\pi^-$
sigma-b	$\Sigma_b^{\,+}$	uub	5807,8	+1	$\approx 10^{-15}$	$\Lambda_b^{\,0} + \pi^+$		
	$\Sigma_b^{\,-}$	ddb	5815,2	-1	$\approx 10^{-15}$	$\Lambda_b^{\,0} + \pi^-$		

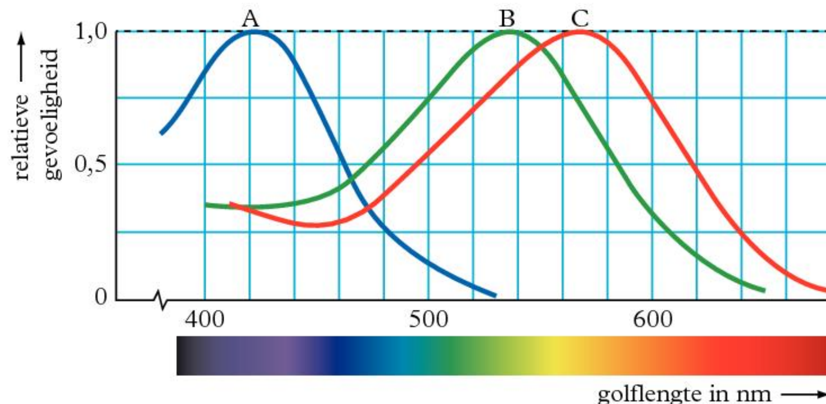
▶ Zie tabel 7B.

A Zicht

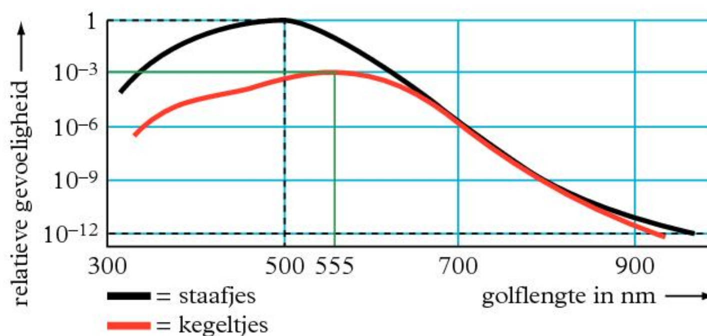
1 Accommodatiebereik als functie van de leeftijd (met spreiding)



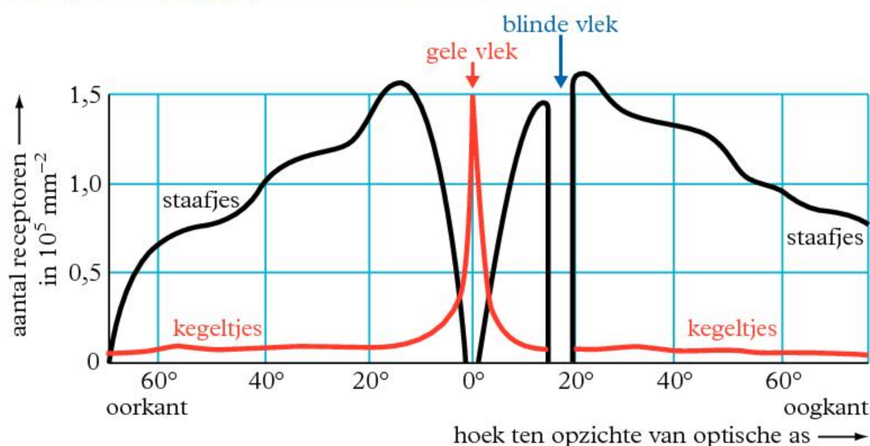
2 Relatieve gevoeligheid van de drie soorten kegeltjes A, B en C

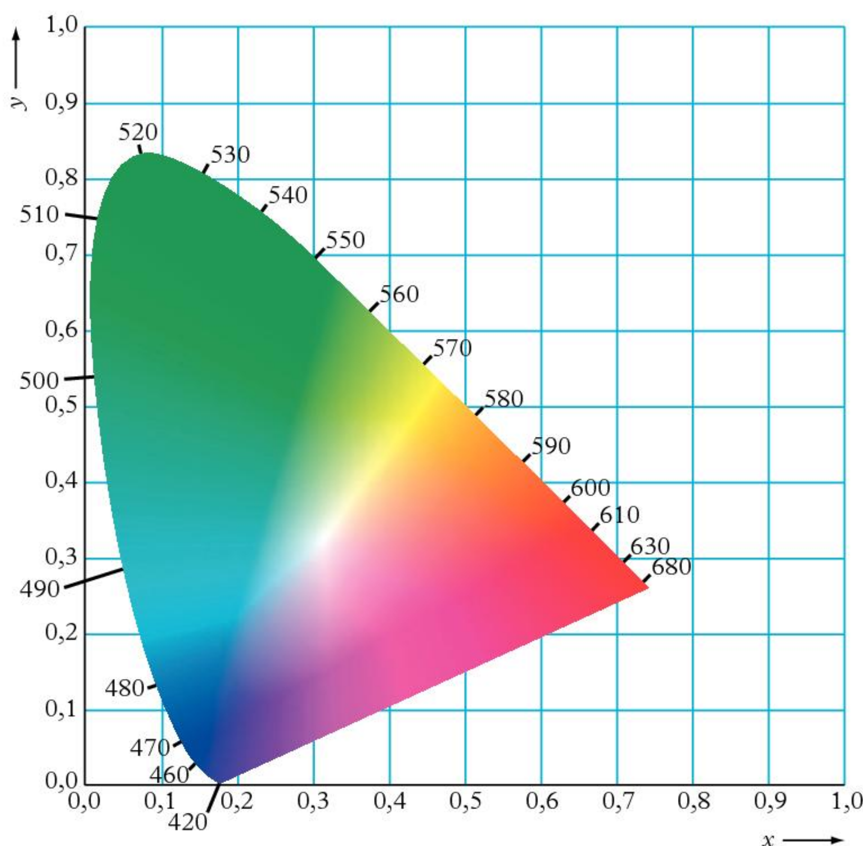


3 Relatieve gevoeligheid kegeltjes (gele vlek) t.o.v. staafjes



4 Verdeling van staafjes en kegeltjes in het netvlies





In het kleurendiagram van de CIE (1931) is de *x*-coördinaat een maat voor de gevoeligheid van de rode kegeltjes en de *y* voor de helderheid.

	x	*y*
wolfraamlamp van 2856 K	0,4476	0,4074
wit, standaardlichtbron D65 (6504 K)	0,3127	0,3290

Huid en ultraviolet, verblijftijd in de zon B

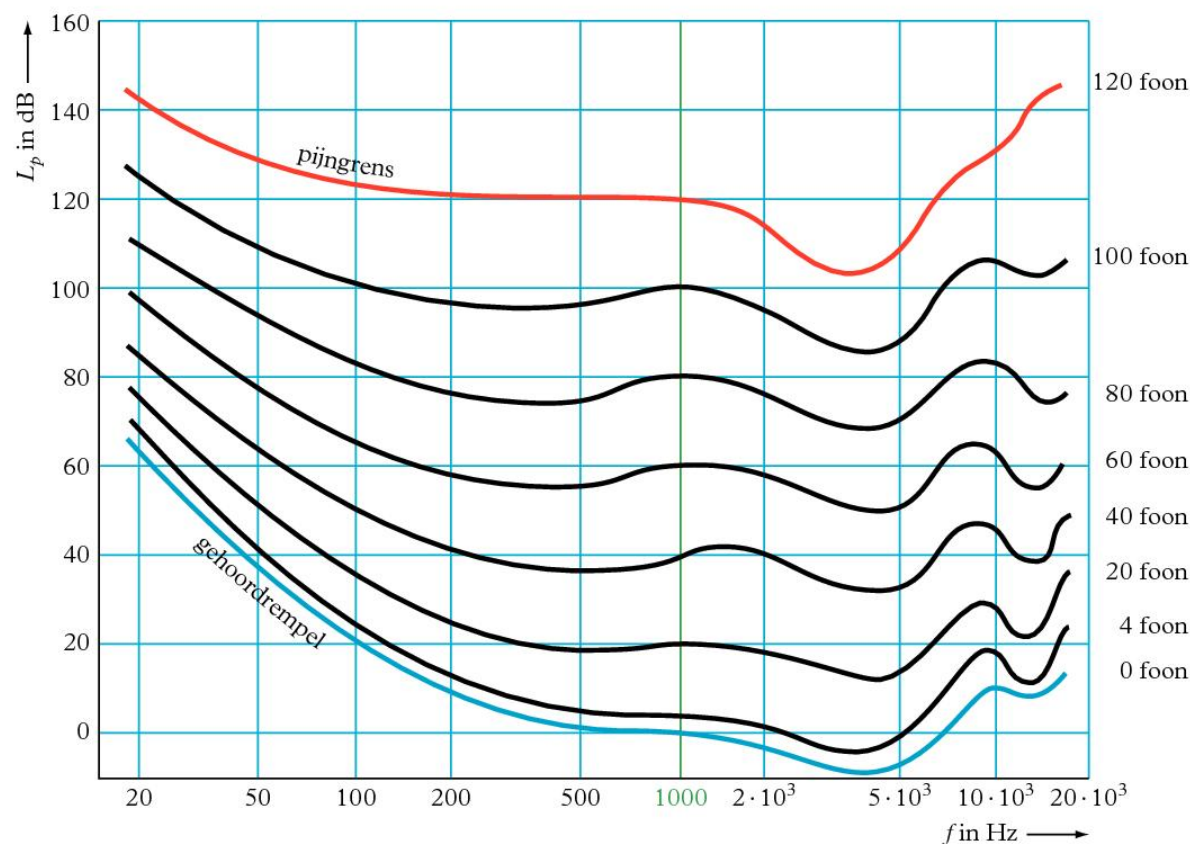
	1	2	3	4	5	6
huidtype (volgens Fitzpatrick)	zeer bleek	bleek	licht getint	getint	donker getint	donker of zwart
bruinen	niet	moeilijk	gemakkelijk	heel goed	intensief	-
verbranden	altijd	snel	minder snel	bijna nooit	zeer zelden	nooit
zonkrachtgetal	60	100	200	300	300	

UV-index, sterkte van de 'zonkracht'	*omschrijving ('zonkracht')*	*maximale verblijftijd in de zon, onbeschermd per huidtype (advies)* min			
0	geen	onbeperkt	onbeperkt	onbeperkt	onbeperkt
1 – 2	vrijwel geen	60 – 30	100 – 50	200 – 100	300 – 150
3 – 4	zwak	20 – 15	35 – 25	70 – 50	100 – 75
5 – 6	matig	≈ 10	≈ 20	≈ 35	≈ 50
7 – 8	sterk	≈ 8	≈ 13	≈ 25	≈ 40
9 – 10 ▸1	zeer sterk	≈ 6	≈ 10	≈ 20	≈ 30
15 of hoger ▸2		< 4	< 7	< 14	< 20

1 ▶ maximale waarde in Nederland 2 ▶ waarden voorkomend aan de evenaar of in de bergen

1 Gehoorgevoeligheid

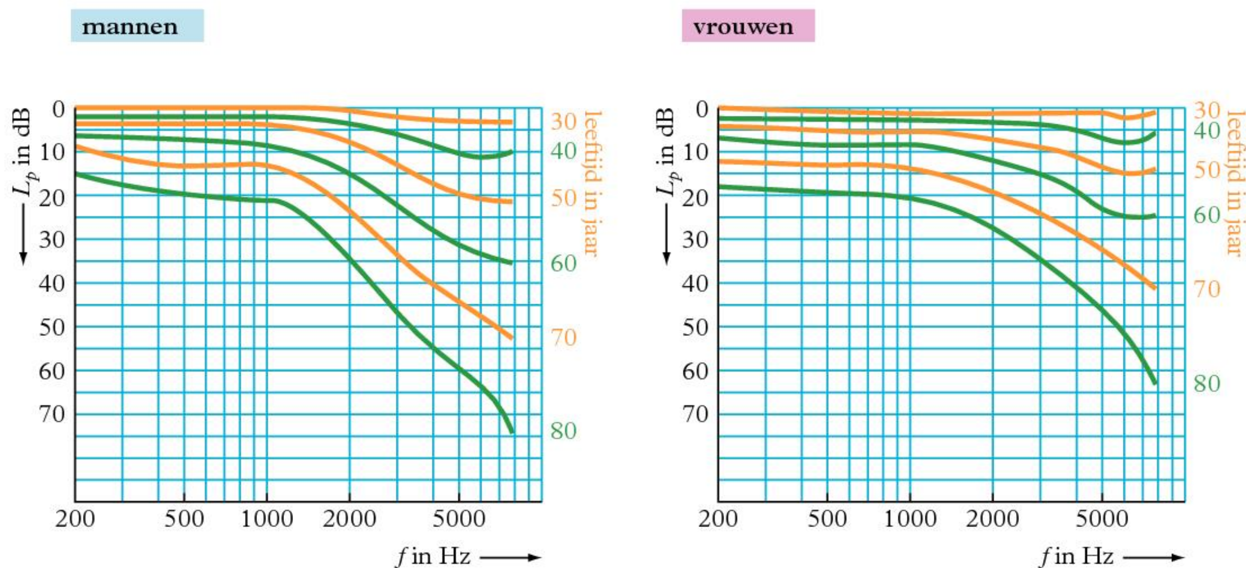
Isofonendiagram van het menselijk oor (voor zuivere tonen)



■ Aantal foon is aantal dB bij een frequentie van 1000 Hz.

2 Gehoorgevoeligheid en leeftijd

Het gemiddelde audiogram per leeftijdsgroep



■ Akoestische schaal voor de mens: zie tabel 15D.

Gezondheidseffecten[1] 1

	acute orgaandosis	*effect*
	Gy	
rood beenmerg	0,5	verminderde bloedvorming
	2	fatale aplasie
gonaden	0,15	tijdelijke steriliteit (mannen)
	3	blijvende steriliteit (mannen)
	2,5	blijvende steriliteit (vrouwen)
ooglenzen	2	lenstroebeling
	6	cataract
huid (lokaal)	5	haaruitval
	6	erytheem
	10	droge epidermis
	30	necrose
botweefsel kind	1	groeistoornis
		scoliose/exostose
botweefsel volwassene	30	necrose

effectieve totale lichaamsdosis	*effect*
mSv	
100	tijdelijke afname van witte bloedcellen
200	man: remming vorming geslachtscellen vrouw: storing orgaanvorming embryo
1000	erytheem huid - groeistoring skelet (kind)
2000	stralingsziekte - infecties (afname witte bloedcellen) bloedingen (afname rode bloedcellen)
4000	ernstige ziekte - LD 50/60 [2]
10000	sterfte LD 100/60 [2] - darmsyndroom
50000	acute sterfte - zenuwsyndroom

1 ► Drempelwaarden voor deterministische (acute) effecten.

2 ► LD 50/60 betekent: letale dosis (dodelijke dosis) voor 50% van de gevallen binnen 60 dagen.

Stralingsbeschermingsnormen 2

Dosislimieten in millisievert per jaar [1]

	effectieve totale lichaamsdosis	*ogen*	*ledematen, huid*
individuele leden van de bevolking	1	15	50
beroepshalve, vanaf 18 jaar [2]	20	150	500
beroepsopleiding, vanaf 18 jaar [2]	20	150	500
beroepsopleiding, 16 - 18 jaar [2]	6	50	150

■ De in de tabel genoemde getalwaarden zijn volgens de Nederlandse wetgeving van kracht vanaf 1 maart 2002.

1 ► De individuele dosislimiet geldt in aanvulling op het voorschrift dat de blootstelling aan straling altijd zo laag moet zijn als redelijkerwijs haalbaar (ALARA-principe: as low as reasonably achievable). De dosislimieten hebben geen betrekking op:
- blootstelling die het gevolg is van natuurlijke stralingsbronnen in de normale leefomgeving;
- blootstelling die men ondervindt als patiënt bij medisch-radiologische toepassingen;
- blootstelling van mensen ten gevolge van radiologische ongevallen.

2 ► Bij vrouwen geldt in geval van zwangerschap de aanvullende eis dat de dosis voor het ongeboren kind niet meer dan 1 millisievert mag bedragen. In feite wordt het ongeboren kind beschouwd als een individueel lid van de bevolking.

Weegfactoren 3

organen en weefsels	*factor*
huid, botoppervlak	0,01
blaas, borst, lever, slokdarm, schildklier, nieren, bijnieren, hersenen, bovenste deel dikke darm, dunne darm, alvleesklier, milt, thymus, spieren, baarmoeder	0,05
rode beenmerg, dikke darm, long, maag	0,12
testikels, eierstokken	0,20
hele lichaam (per definitie)	1

stralingssoort	*factor*
elektronen (β^-), fotonen (γ)	1
protonen > 2 MeV	2 - 5
neutronen < 10 keV en > 20 MeV	5
neutronen 10 keV tot 100 keV en 2 MeV tot 20 MeV	10
neutronen 100 keV tot 2 MeV, heliumkernen (α) vervalproducten, zware kernen	20

28 Fysica en milieu

A Luchtweerstandscoëfficiënten

voertuig	C_w	*voertuig*	C_w	*voertuig*	C_w
sportwagen	0,2 - 0,3	formule-1-raceauto	0,7 – 1,1	super(lig)fiets HPV	0,1
personenauto	0,3 – 0,5	passagierstrein	1,8	racefiets	0,9
terreinwagen (4×4)	0,6	motor	1,8	tandem	1,0
vrachtauto	0,6 – 1,0	Boeing 747	0,031	traditionele fiets	1,1

vorm	C_w	*vorm*	C_w	*vorm*	C_w
bol →	0,47	kubus ▸ →	1,05	cilinder kort →	1,15
halve bol →	0,42	kubus ▸ →	0,80	gestroomlijnd →	0,04
kegel →	0,50	cilinder lang →	0,82	half gestroomlijnd →	0,09

■ Alle voertuigen met berijder.

▶ bovenaanzicht

B Stookwaarden

Het gevormde water komt vrij als waterdamp.

vaste stoffen	10^6 J kg^{-1}	kWh kg^{-1}
bruinkool	21	5,8
hout	16	4,4
steenkool	29	8,1
turf	11	3,1

vloeistoffen (T = 293 K)	10^9 J m^{-3}	10^3 kWh m^{-3}
alcohol [ethanol]	22	6,1
benzine (99 octaan)	33	9,2
gasolie	36	10,0
spiritus	18	5,0
stookolie	40	11,1

gassen (T = 273 K , $p = p_0$)	10^6 J m^{-3}	kWh m^{-3}
aardgas (Gronings) ▸	32	8,9
aardgas (diverse samenstellingen)	29,5 - 44,4	8,2 - 12,2
acetyleen [ethyn]	56,9	15,8
butaan	120,7	34
butagas	110	31
ethyleen [etheen]	64,5	17,9
generatorgas	3,0	0,83
hoogovengas	4,2	1,17
koolstofmono-oxide	12,8	3,6
methaan	35,8	9,9
propaan	93,8	26
waterstof	10,8	3,0

■ Stookwaarde betekent geleverde verbrandingswarmte; daarom is hier steeds een positieve waarde gegeven (in tegenstelling tot tabel 56).

▶ Gronings aardgas is 80% CH_4 en 20% N_2.

C Lichtabsorptie in water

lichtabsorptie in procent ten opzichte van de lichtintensiteit gemeten op 1 meter diepte in onvervuild zeewater

diepte in m	*violet*	*blauw*	*blauwgroen*	*groen*	*geel*	*rood*
5	13,4	55,0	75,0	75,0	99,75	99,63
10	20,0	56,3	83,4	83,4	99,80	99,73
20	33,4	72,3	97,9	99,4	99,88	99,997
50	80,0	79,9	99,75	99,78	99,997	99,9998

Gebruikelijke *U*-waarden van bouwelementen (constructies) D

	$W\,m^{-2}\,K^{-1}$
raam, enkel glas	5,7
raam, dubbel glas, 8 mm spouw	3,5
buitendeur, massief hout	3,5
binnendeur, hout	2,8
binnenmuur, halfsteens, kalkzand	7,1
buitenmuur, halfsteens, kalkzand	12,5
binnenmuur, steens, kalkzand	3,8
buitenmuur, steens, kalkzand	6,2
binnenspouwmuur, tweemaal halfsteens, kalkzand	2,3
buitenspouwmuur, tweemaal halfsteens, kalkzand	2,7
binnenspouwmuur, half- en heelsteens, kalkzand	1,9
buitenspouwmuur, half- en heelsteens, kalkzand	2,0
massieve muur, aan buitenkant geïsoleerd	
• 30 mm PIR- of PUR-schuim	0,67
• 60 mm PIR- of PUR-schuim	0,38
• 30 mm PS-schuim	0,84
• 60 mm PS-schuim	0,49

	$W\,m^{-2}\,K^{-1}$
partieel gevulde spouwmuur	
• 30 mm PIR- of PUR-schuim	0,60
• 60 mm PIR- of PUR-schuim	0,35
• 30 mm PS-schuim	0,72
• 60 mm PS-schuim	0,45
• 30 mm minerale wol	0,79
• 60 mm minerale wol	0,50
pannendak, enkel houten beschot, 17 mm	4,5
pannendak, dubbel houten beschot, 2 × 17 mm	2,0
pannendak met isolatie, op dakbeschot	
• 40 mm PIR- of PUR-schuim	0,60
• 40 mm PS-schuim	0,73
• 40 mm minerale wol	0,79
pannendak met isolatie onder dakbeschot	
• 40 mm PS-schuim	0,67
• 40 mm minerale wol	0,75
pannendak met isolatie en spouw	
• 40 mm PS-schuim	0,61
• 40 mm minerale wol	0,67

Warmtegeleidingscoëfficiënten van bouw- en isolatiematerialen E

	$W\,m^{-1}\,K^{-1}$
gevelmetselwerk (direct blootgesteld aan regen)	1,00
ander baksteenmetselwerk	0,70
metselwerk van kalkzandsteen	0,90
cellenbeton	0,20
gips	0,18

	$W\,m^{-1}\,K^{-1}$
glaswol en steenwol	0,04
hardboard	0,08
spaanplaat	0,17
houtwolcementplaat	0,12
kunststofschuim	0,023 - 0,055

Halveringsdikten F

Halveringsdikte $d_{\frac{1}{2}}$ in cm van enkele stoffen voor elektromagnetische straling (γ, röntgen) bij verschillende energie van het foton.

stof	*E* in MeV					
	0,05	0,1	1,0	2,0	5,0	10,0
lucht (p_0, T_0)	$2{,}8 \cdot 10^3$	$3{,}7 \cdot 10^3$	$9{,}1 \cdot 10^3$	$13{,}0 \cdot 10^3$	$20{,}8 \cdot 10^3$	$28{,}1 \cdot 10^3$
water	3,08	4,1	9,8	14,1	22,9	31,2
aluminium	0,70	1,51	4,2	6,0	9,0	11,1
beton	0,75	1,66	4,6	6,6	10,2	12,8
bot	1,08	2,07	5,6	7,9	12,6	16,6
ijzer	0,049	0,24	1,5	2,1	2,8	2,9
lood	0,0079	0,0106	0,86	1,34	1,44	1,23

techniek	*fysische waarden*	*registratieprincipe*	*toepassingen*	*beeld*
echografie	frequentie geluidsgolven: 1-20 MHz routine; tot 50 MHz intraveneus	reflectie van ultrageluid 2D, 3D en 4D (3D in de tijd)	zwangerschapsonderzoek, sportblessures, doorstroming vaatbed (Doppler), afbeeldingen van buikorganen	
röntgenfoto	energie: 20-150 keV effectieve dosis: 0,01-0,1mSv	verzwakking van röntgenstraling 2D	skelet, mammografie, gebit, buikoverzicht, thorax, longen, spijsverteringskanaal	
doorlichting met röntgenstraling	energie: 50-125 keV effectieve dosis: 0,1-20 mSv	verzwakking van röntgenstraling in combinatie met röntgencontrastmiddelen; levert röntgenfilmpjes 2D	beeldvorming tijdens operaties, functieonderzoek (slikken, maag en darm), angio- en cardiografie (afbeelding en katheterisatie hart- en bloedvaten; stenting en dotterbehandelingen)	
CT (computer-tomografie)	energie: 70-140 keV effectieve dosis: 0,1-20 mSv	verzwakking van röntgenstraling vanuit 360° levert dwarsdoorsneden 3D en 4D	kankeronderzoek, onderzoek naar zachte weefsels, spoedeisende hulp (letsels, bloedingen), perfusie (herseninfarct), afbeelding van het hart: 3D opname van orgaan binnen 0,5 s	
MRI (magnetic resonance imaging)	magneetveld: 0,1-12 T frequentie radiogolven: 42,58 MHz T^{-1}	resonantie van protonspins met radiogolven in een uitwendig magnetisch veld (Zeemaneffect) 3D en 4D	onderzoek naar hersenen, gewrichten, buikorganen, hart- en hersenfunctie, diffusie van water in weefsels, doorbloeding van organen, borsten	
PET (positron-emissie-tomografie)	energie: 0,511 MeV effectieve dosis: 1,5-5 mSv	gelijktijdige registratie van fotonen uit annihilatie van elektronen met positronen uit radioactief verval geeft lokalisatie van radioactieve stof in 3D	weefselonderzoek, kankeronderzoek (vaak in combinatie met CT-scan), onderzoek naar transportprocessen stofwisseling	
gammacamera	energie: 80-400 keV effectieve dosis: 2-16 mSv	registreren van gammastraling uit radioactieve vervalprocessen 2D of 3D (SPECT: single photon emission computed tomography)	kankeronderzoek, opsporen van uitzaaiingen, hartfunctie (SPECT, vaak in combinatie met CT-scan), onderzoek naar de fysiologie van organen	

Schaal van aardbevingen A

sterkte volgens Richter	***beschrijving*** *- effecten*	*energie* J	*frequentie*
0 – 1,9	**minuscuul** - microbeving, onvoelbaar	$4 \cdot 10^{6}$ - $4 \cdot 10^{9}$	8000 per dag
2,0 – 2,9	**zeer licht** - onvoelbaar maar wel te meten; vrijwel nooit schade	$4 \cdot 10^{9}$ - $9 \cdot 10^{10}$	1000 per dag
3,0 – 3,9	**licht** - vaak voelbaar maar zelden schade; trillingen als van een voorbijrijdende vrachtwagen	$1 \cdot 10^{11}$ - $3 \cdot 10^{12}$	49000 per jaar
4,0 – 4,9	**gemiddeld** - voorwerpen in huis schudden; lichte schade mogelijk aan schoorstenen; kleine scheuren in wegdek of oude en zwakke gebouwen	$4 \cdot 10^{12}$ - $9 \cdot 10^{13}$	6200 per jaar
5,0 – 5,9	**vrij krachtig** - kan in kleine gebieden flinke schade aanrichten bij slecht gebouwde huizen; op zijn hoogst lichte schade aan stevige gebouwen	$1 \cdot 10^{14}$ - $3 \cdot 10^{15}$	800 per jaar
6,0 – 6,9	**krachtig** - matige tot zware schade aan veel gebouwen tot 150 km; grote scheuren in wegdek; paniek	$4 \cdot 10^{15}$ - $9 \cdot 10^{16}$	120 per jaar
7,0 – 7,9	**zwaar** - alleen sterke gebouwen blijven staan; grond kan helemaal openscheuren; grote schade in grotere gebieden; aan kusten grote vloedgolven (tsunami's) mogelijk	$1 \cdot 10^{17}$ - $3 \cdot 10^{18}$	18 per jaar
8,0 – 8,9	**zeer zwaar** - uitgebreide verwoesting in gebieden tot honderden kilometers groot; aan kusten catastrofale, tot 40 meter hoge vloedgolven (tsunami's) mogelijk	$4 \cdot 10^{18}$ - $9 \cdot 10^{19}$	1 per jaar
9,0 – 9,9	**catastrofaal** - mogelijk totale verwoesting over duizenden kilometers; rotsen en gebergtes kunnen scheuren	$> 10^{20}$	1 per 20 jaar
10,0 – 11,9	**totaal catastrofaal** - landen en eilanden veranderen van plaats; verandering van de nutatie of de omwentelingssnelheid van de aarde		
> 12,0	**totale verwoesting** - volledig catastrofale en zeer diep ingrijpende geografische veranderingen; gevaar voor alle levensvormen		

Gravitatieversnelling B

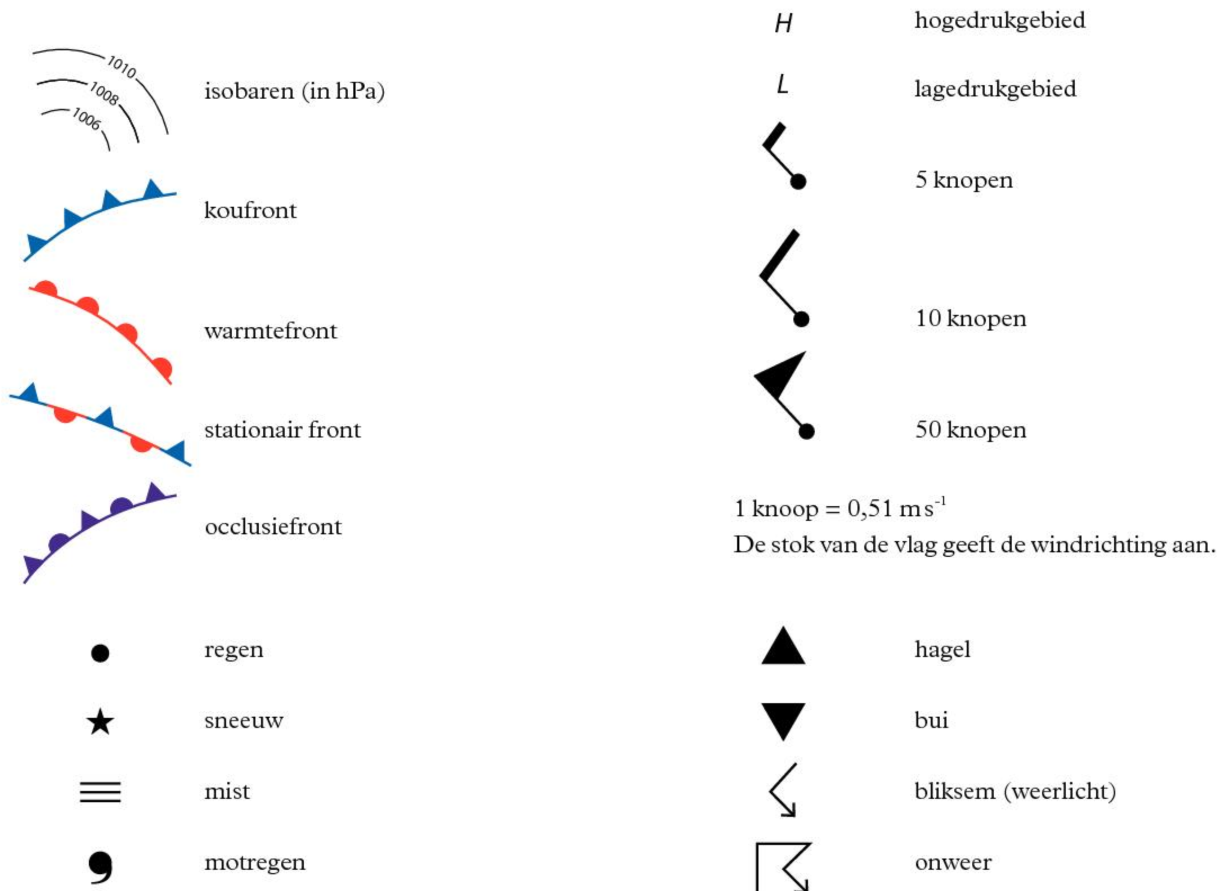
	geografische breedte °	*hoogte* m	*gravitatie-versnelling* N kg^{-1} = m s^{-2}
standaardwaarde			9,806 65
pool	90	0	9,832 17
Reykjavik	64,14	8	9,822 80
Roodeschool	53,40	0	9,813 6
Amsterdam (v.d.Waalslaboratorium UvA)	52,21	1,78	9,812 753 4
Vaals	50,76	322	9,811 0
Parijs (BIPM)	48,83	65,93	9,809 41
Algiers	36,75	346,7	9,799 12
Santiago de Cuba	19,97	0	9,786 41
evenaar	0	0	9,780 32
Quito	-0,02	2815	9,772 78
Rio de Janeiro	-22,93	28,98	9,788 05
Johannesburg	-26,19	1755	9,785 50

C Schaal van windsnelheden

windsterkte volgens Beaufort	*gemiddelde windsnelheid op* 10 m *hoogte boven zeeniveau* *Beaufort*		*KNMI*		*omschrijving zeeoppervlak (petersenschaal)*	*omschrijving van het KNMI*
	m s^{-1}	*omschrijving*	m s^{-1}	*omschrijving*		
0	0,0–0,2	stil	0	windstil	spiegelgladde zee	rook stijgt (vrijwel) recht omhoog
1	0,3–1,5	flauw en stil	0–3	zwakke wind	golfjes – geschubde zee	rookpluimen geven windrichting aan
2	1,6–3,3	flauwe koelte			kleine, korte golven – glasachtig	bladeren en windvanen bewegen
3	3,4–5,4	lichte koelte	3–8	matige wind	kleine golven – brekende toppen geven glasachtig schuim	bladeren en twijgen bewegen voortdurend
4	5,5–7,9	matige koelte			langere golven – witte schuimkoppen	kleine takken beginnen te bewegen – stof en papier dwarrelt op
5	8,0–10,7	frisse bries	8–11	vrij krachtige wind	matige golven met witte schuimkoppen – soms opwaaiend schuim	bebladerde takken zwaaien – gekuifde golven
6	10,8–13,8	stijve bries	11–14	krachtige wind	grotere golven – brekende koppen geven witte schuim plekken	grote takken bewegen – wind fluit en zoemt
7	13,9–17,1	harde wind	14–17	harde wind	hogere golven – wit schuim vormt windstrepen	bomen bewegen – wind is hinderlijk
8	17,2–20,7	stormachtig	17–20	stormachtige wind	hoge golven met lange kam – afwaaiende toppen geven schuimstrepen	twijgen breken af – voortgaan wordt bemoeilijkt
9	20,8–24,4	storm	20–24	storm	zware schuimstrepen – beginnende rollers – verwaaid schuim geeft slecht zicht	lichte schade – dakpannen waaien af
10	24,5–28,4	zware storm	24–28	zware storm	zeer hoge golven met lange over stortende golf kammen – begin witte zee – zware overslaande rollers	ontwortelde bomen – aanzienlijke schade
11	28,5–32,6	zeer zware storm	28–32	zeer zware storm	golfkammen verwaaien overal – zee geheel bedekt met schuimstrepen – zeer slecht zicht	uitgebreide schade
12	32,7–36,9	orkaan	32–37	orkaan	lucht geheel gevuld met	ernstige verwoesting
13	37,0–41,4	orkaan	37–41	orkaan	schuim en water – geheel	
14	41,5–46,1	orkaan	41–46	orkaan	witte zee – géén zicht	
15	46,2–50,9	orkaan	46–51	orkaan		totale verwoesting
16–17	≥ 51,0	orkaan	≥ 51	orkaan		

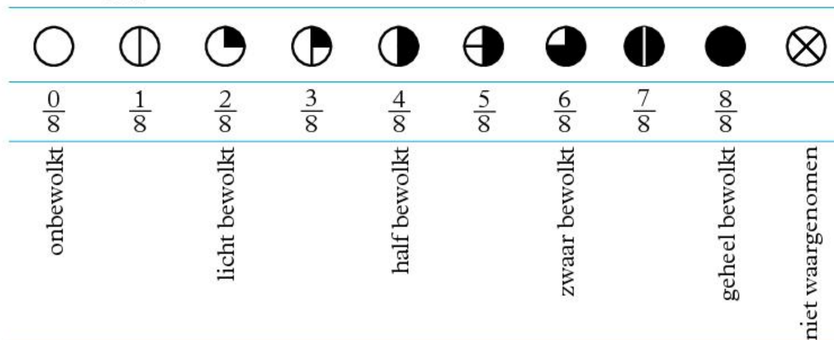
■ Voor de code op weerkaarten: zie tabel 30D.

D Symbolen weerkunde

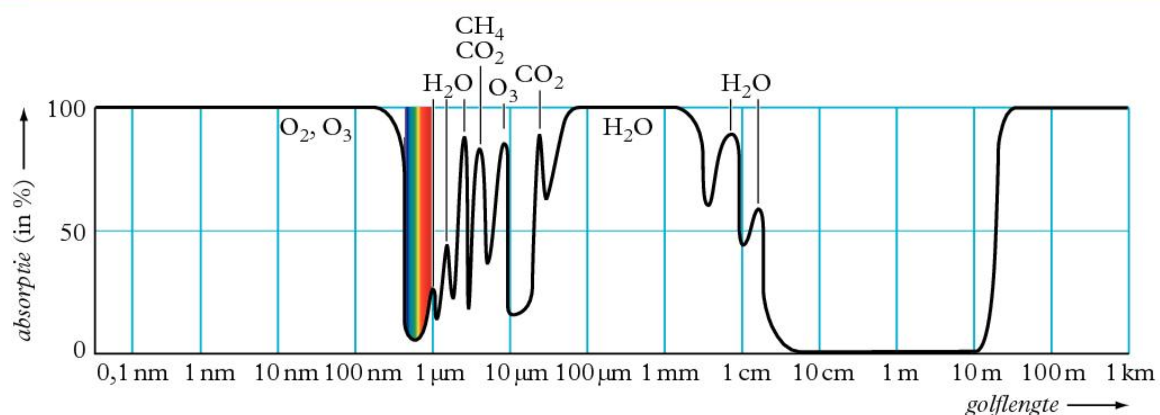


1 knoop = 0,51 m s^{-1}
De stok van de vlag geeft de windrichting aan.

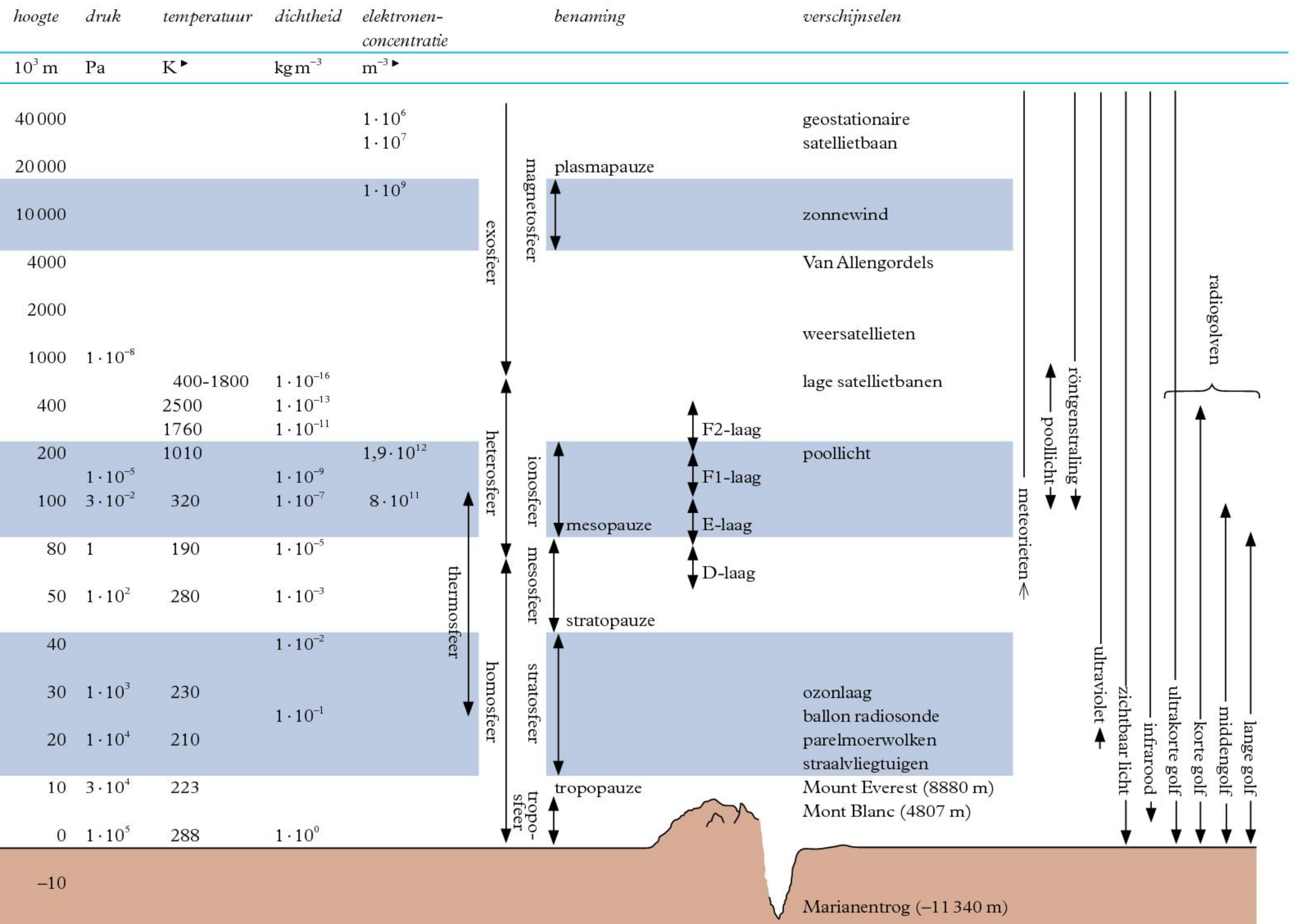
Bedekkingsgraad van de lucht :



E Absorptie van elektromagnetische straling in de atmosfeer



F De atmosfeer van de aarde



hoogte 10^3 m	druk Pa	temperatuur K▸	dichtheid kg m^{-3}	elektronen-concentratie m^{-3}▸	verschijnselen
40 000				$1 \cdot 10^{6}$	geostationaire
				$1 \cdot 10^{7}$	satellietbaan
20 000					
				$1 \cdot 10^{9}$	
10 000					zonnewind
4000					Van Allengordels
2000					
					weersatellieten
1000	$1 \cdot 10^{-8}$				
		400-1800	$1 \cdot 10^{-16}$		lage satellietbanen
400		2500	$1 \cdot 10^{-13}$		
		1760	$1 \cdot 10^{-11}$		
200		1010		$1{,}9 \cdot 10^{12}$	poollicht
	$1 \cdot 10^{-5}$		$1 \cdot 10^{-9}$		
100	$3 \cdot 10^{-2}$	320	$1 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{11}$	
80	1	190	$1 \cdot 10^{-5}$		
50	$1 \cdot 10^{2}$	280	$1 \cdot 10^{-3}$		
40			$1 \cdot 10^{-2}$		
30	$1 \cdot 10^{3}$	230			ozonlaag
			$1 \cdot 10^{-1}$		ballon radiosonde
20	$1 \cdot 10^{4}$	210			parelmoerwolken
					straalvliegtuigen
10	$3 \cdot 10^{4}$	223			Mount Everest (8880 m)
					Mont Blanc (4807 m)
0	$1 \cdot 10^{5}$	288	$1 \cdot 10^{0}$		
–10					Marianentrog (–11 340 m)

▸ De waarden boven $1500 \cdot 10^3$ m zijn sterk afhankelijk van dag/nacht, geografische breedte en zonneactiviteit.

naam	*symbool*	*type*	*ontdekking*	*baanstraal*	*omlooptijd*	*helling t.o.v. ecliptica*	*straal (equator)*	*massa*	*dichtheid*	*gravitatieversnelling aan het oppervlak*	*ontsnappingssnelheid*	*siderische rotatieperiode*	*gemiddelde oppervlakte-temperatuur*	*gassen in de atmosfeer*	*aantal satellieten (manen en ringen)*
				m	d, y	°	10^6 m	10^{24} kg	kg m^{-3}	m s^{-2}	10^3 m s^{-1}	d	K		
Mercurius	☿	planeet	oudheid	$0{,}0579 \cdot 10^{12}$	87,97 d	7,0	2,440	0,330	5430	3,7	4,2	58,65	440	He, H_2	0
Venus	♀	planeet	oudheid	$0{,}1082 \cdot 10^{12}$	224,7 d	3,4	6,052	4,87	5240	8,87	10,4	-243 [5]	737	CO_2, N_2	0
Aarde	⊕	planeet	oudheid	$0{,}1496 \cdot 10^{12}$	365,256 d	0,0	6,371 [3]	5,972	5513	9,81	11,2	0,9973	288	N_2, O_2, Ar	1
Maan	☾	maan	oudheid	$384{,}4 \cdot 10^{6}$	27,32 d	5,2 [2]	1,738	0,0735	3340	1,62	2,38	27,32	253	He, H_2	–
Mars	♂	planeet	oudheid	$0{,}228 \cdot 10^{12}$	687,0 d	1,8	3,390	0,642	3930	3,7	5,0	1,026	208	CO_2, N_2, Ar	2
Phobos		maan	1877	$9{,}37 \cdot 10^{6}$	0,319 d	1,1 [2]	0,011 [4]	$1{,}07 \cdot 10^{-8}$	1900	0,0057	0,04	0,319		–	–
Deimos		maan	1877	$23{,}5 \cdot 10^{6}$	1,262 d	1,8 [2]	0,006 [4]	$1{,}5 \cdot 10^{-9}$	1470	0,003	0,07	1,26		–	–
Ceres	⚳	dwergplaneet	1801	$0{,}414 \cdot 10^{12}$	4,600 y	10,6	0,476	$9{,}5 \cdot 10^{-4}$	2090	0,28	6,7	0,38	168	–	–
Jupiter	♃	planeet	oudheid	$0{,}7883 \cdot 10^{12}$	11,86 y	1,3	69,91	1900	1330	24,9	60	0,413	163	H_2, He, CH_4, NH_3	79+r
Io		maan	1610	$421{,}8 \cdot 10^{6}$	1,769 d	0,004 [2]	1,822	0,089	3530	1,8	2,38	1,77	118	SO_2	–
Europa		maan	1610	$670{,}9 \cdot 10^{6}$	3,551 d	0,01 [2]	1,568	0,048	3010	1,32	7,29	3,55	103	O_2	–
Ganymedes		maan	1610	$1070 \cdot 10^{6}$	7,155 d	0,18 [2]	2,631	0,148	1940	1,43	9,87	7,18	113	O_2	–
Callisto		maan	1610	$1883 \cdot 10^{6}$	16,689 d	0,19 [2]	2,410	0,1076	1830	1,24	8,79	16,69	118	CO_2	–
Saturnus	♄	planeet	oudheid	$1{,}427 \cdot 10^{12}$	29,45 y	2,5	58,2	568	687	11,2	36,1	0,444	133	H_2, He, CH_4, NH_3	82+r
Uranus	⛢	planeet	1781	$2{,}871 \cdot 10^{12}$	84,02 y	0,8	25,4	86,8	1270	8,9	21,4	-0,718 [5]	76	H_2, He, CH_4	27+r
Neptunus	♆	planeet	1846	$4{,}498 \cdot 10^{12}$	164,8 y	1,8	24,6	102,4	1640	11,2	23,6	0,671	73	H_2, He, CH_4	14+r
Pluto	♇	dwergplaneet	1930	$5{,}91 \cdot 10^{12}$	247,9 y	17,1	1,15	0,0131	2050	0,66	1,23	6,39	48	N_2, CH_4, NH_3	5
Charon		plutino	1978	$0{,}0196 \cdot 10^{9}$	6,4 d	0,001 [2]	0,63	0,0016	1650	0,28	0,58	synchroon	45	–	
Haumea		dwergplaneet	2003	$6{,}43 \cdot 10^{12}$	239,1 y	28	1,4	0,0042	3000	0,44	0,84	0,16	<50	–	2
Quaoar		TNO [1]	2002	$6{,}5 \cdot 10^{12}$	283 y	8	0,65	0,002	2000	0,3	0,5	0,74	43	CH_4	
Makemake		dwergplaneet	2003	$6{,}78 \cdot 10^{12}$	296,1 y	29	0,73	0,004	2000	0,4	0,75	0,17	33	CH_4	1
Eris		dwergplaneet	2003	$10{,}2 \cdot 10^{12}$	557 y	47	1,4	0,0167	2500	0,83	1,4	1,08	33	CH_4	1
Sedna		centaur	2003	$72 \cdot 10^{12}$	11400 y	11,9	0,75	0,004	2000	0,4	0,8	0,43	33	N_2, CH_4	

1 ▶ 8 planeten, 5 dwergplaneten, $2{,}6 \cdot 10^7$ planetoïden (kometen, centaurs, TNO = Trans Neptunus Object)

2 ▶ Bij de manen is de helling van het baanvlak t.o.v. de planeetbaan (dus niet t.o.v. de ecliptica).

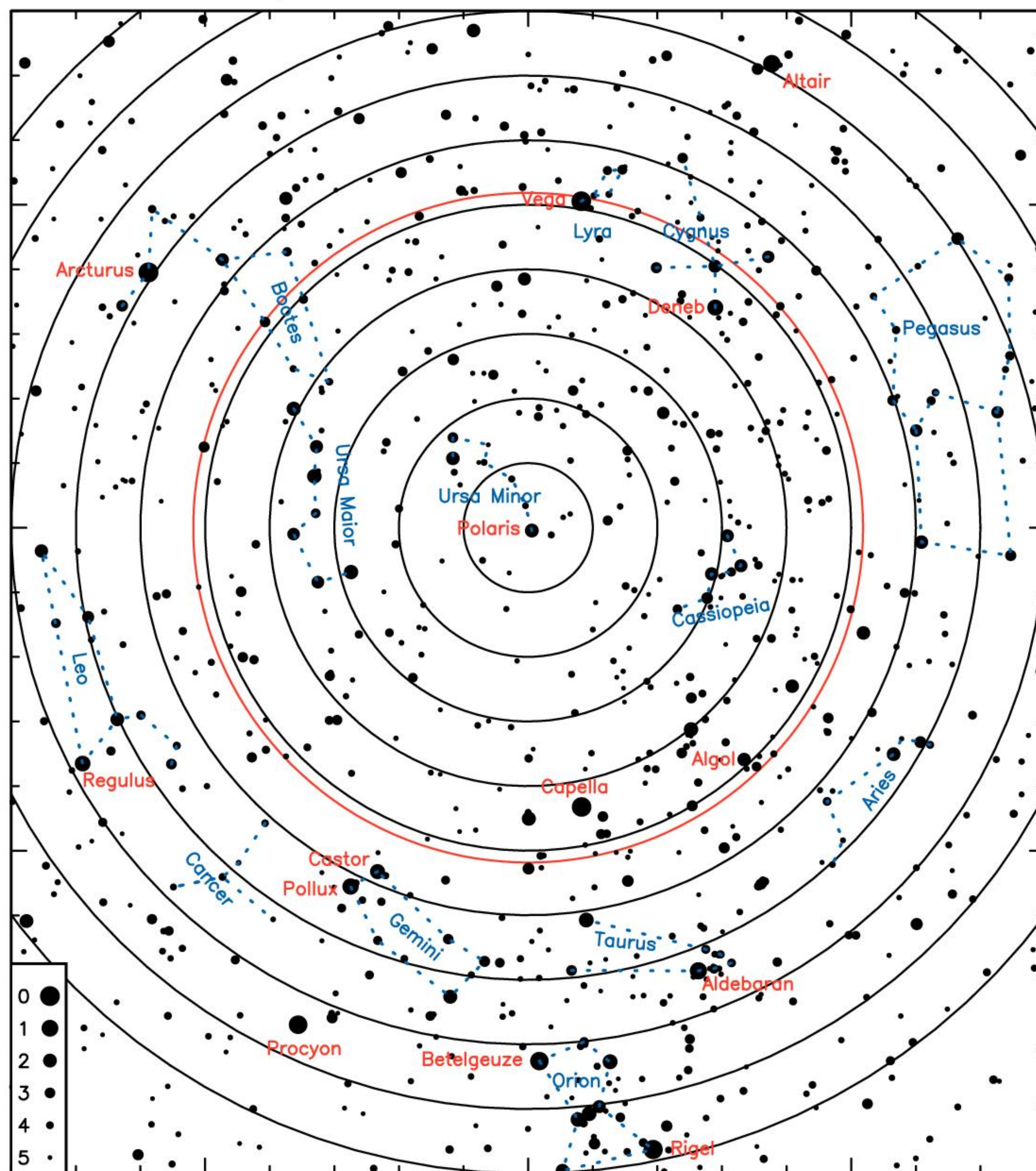
3 ▶ pool: 6356,7523142 km; evenaar: 6378,1370 km

4 ▶ onregelmatig van vorm

5 ▶ De rotatierichting is tegengesteld aan de draaiing in de baan.

A Sterrenkaart

Sterrenkaart voor het noordelijk halfrond



magnitude

■ Sterren binnen de rode cirkel staan in Nederland altijd boven de horizon.

naam	aanduiding in sterrenbeeld	magnitude (schijnbare visuele)	spectraaltype	effectieve tempera-tuur	afstand	radiële snelheid	tangentiële snelheid	visueel vermogen ▸ t.o.v. zon	totaal vermogen ▸ t.o.v. zon	straal t.o.v. zon	bijzonderheden
				10^3 K	10^{16} m	10^3 m s^{-1}	10^3 m s^{-1}				
Zon		-26,78	G2 V	5,78	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$	0	0	1	1	1	centrum zonnestelsel
Sirius A	α^1 Canis Major	-1,44	A0 V	9,9	8,2	-8	16,7	22	26	1,7	dubbelster; periode 50 y
Canopus	α Carina	-0,62	F0 Ib	8,4	290	21	14	13000	13000	54	hete corona zendt röntgenstraling uit
Arcturus	α Boötes	-0,05	K2 III	4,4	34,7	-5,2	122	110	185	24	rode reus, hoge snelheid
Rigil Kent A	α^1 Centaurus	-0,01	G2 V	5,67	4,1	-22	23,3	1,5	1,5	1,3	dubbelster; 79,9 y
Wega	α Lyra	0,03	A0 V	10,0	23,7	-14	12,7	48,1	57	2,5	snelle rotator
Capella	α Auriga	0,08	G8 III	5,4	40,5	30	27,0	134	140	13,4	dubbelster van 2 rode reuzen; 104 d
Rigel A	β Orion	0,18	B8 I	10,5	820	21	2	50000	65000	80	superreus met lichte dubbelster
Procyon A	α Canis Minor	0,40	F5 IV-V	6,7	10,8	-3,2	21,0	7,2	6,7	1,9	dubbelster met witte dwerg; 40,8 y
Achernar	α Eridanus	0,45	B3 V	16,0	132	16	19	1000	3600	7	afgeplat door snelle rotatie
Betelgeuze	α Orion	0,45	M2 I	3,6	470	22	22	13000	80000	700	onregelmatig variabel; ~ 2335 d
Agena	β Centaurus	0,61	B1 III	24,0	370		23	7000	60000	14	veranderlijke ster, periode 0,16 d
Altair	α Aquila	0,76	A7 IV-V	8,0	15,8	-26	16,1	11	10,1	1,7	afgeplat door snelle rotatie
Aldebaran	α Taurus	0,87	K5 III	3,6	63,1	54,1	19,3	160	650	64	rode reus
Spica	α Virgo	0,98	B1 V	25,0	235	1	19	2000	18000	8	dubbelster; 4 d
Antares A	α Scorpius	1,06	M1 I	3,0	520	-3	20	9000	90000	1100	superreus, onregelmatig variabel
Pollux	β Gemini	1,16	K0 III	5,0	32,0	3,3	30,8	31	37	8,3	dichtstbije rode reus
Fomalhaut	α Piscis Australis	1,17	A3 V	8,5	23,8	7	13,4	17	16,0	1,9	heeft stofring met planeet
Deneb	α Cygnus	1,25	A2 I	9,0	1300	-5	6	50000	50000	90	superreus
Mimosa	β Crux	1,25	B0,5 III	25,0	260	16	19	2000	18000	7	variatie met 1%; periode 0,20 d
Regulus	α Leo	1,36	B7 V	12,0	75	6	28,7	140	250	4	wijde dubbelster met rode dwerg
Castor	α Gemini	1,58	A2 V	9,5	48	0	18	50	50	2,7	systeem van 3 dubbelsterren
Polaris	α Ursa Minor	1,97	F7 I-II	5,9	410	-17	29	2400	2400	47	poolster; pulsatievariabele; 4 d
Algol	β Perseus	2,09	B8 V	10,0	85	4	0,4	90	110	3,5	eclipserende dubbelster; 2,9 d
Mizar	ζ Ursa Major	2,23	A2 V	9,0	81	-6	15	75	80	3,4	systeem van 3 dubbelsterren
Schedar	α Cassiopeia	2,24	K0 II-III	4,5	216	-4,0	20,0	520	780	45	oranje reus
Sirius B	α^2 Canis Major	8,44	DA	24,8	8,2	-8	16,7	0,0025	0,024	0,0084	witte dwerg bij Sirius A; 50 y
Barnard		9,54	M4 V	3,0	5,6	-106,7	89,6	0,00043	0,0045	0,25	ster met hoogste eigenbeweging
Proxima Cent.	α^3 Centaurus	11,01	M5,5 V	2,6	4,0	-22	23,7	0,000056	0,0018	0,21	dichtstbijzijnde ster na de zon
Wolf 359	CN Leo	13,53	M6 Ve	2,4	7,4	10	52	0,000018	0,0013	0,20	zeer zwakke ster

▸ Het vermogen van een ster wordt ook vaak de lichtsterkte of de lichtkracht van de ster genoemd.

Gegevens van sterren

C De zon

afstand zon – aarde, gem.	$1{,}496 \cdot 10^{11}$ m = 1 AE	ontsnappingssnelheid		$6{,}1754 \cdot 10^{5}$ m s^{-1}
perihelium, rond 4 januari	$1{,}47 \cdot 10^{11}$ m	rotatieperiode, siderisch	aan equator	25,7 d
aphelium, rond 4 juli	$1{,}52 \cdot 10^{11}$ m		op 75° breedte	33,4 d
massa	$1{,}9884 \cdot 10^{30}$ kg	uitgestraald vermogen		$3{,}828 \cdot 10^{26}$ W
straal	$6{,}957 \cdot 10^{8}$ m	zonneconstante op aarde		$1{,}361 \cdot 10^{3}$ W m^{-2}
dichtheid, gemiddeld	$1{,}410 \cdot 10^{3}$ kg m^{-3}	schijnbare magnitude		–26,78
gravitatieversnelling aan oppervlak	273,6 m s^{-2}	centrale temperatuur		$1{,}55 \cdot 10^{7}$ K
		centrale druk		$2{,}33 \cdot 10^{16}$ Pa

D De Melkweg

klasse	SBbc	aantal sterren	2 - $4 \cdot 10^{11}$
		centrale deel	$5 \cdot 10^{10}$
afstand zon-middelpunt	$2{,}5 \cdot 10^{20}$ m	diameter	$9 \cdot 10^{20}$ m
omlooptijd zon	$2{,}45 \cdot 10^{8}$ y	centrale deel	$2 \cdot 10^{20}$ m
omloopssnelheid zon	$2{,}20 \cdot 10^{5}$ m s^{-1}	dikte	$3 \cdot 10^{19}$ m
lengte centrale arm	$2{,}4 \cdot 10^{20}$ m	centrale deel	$6 \cdot 10^{19}$ m
		massa	$7{,}5 \cdot 10^{11}$ $m_\odot$
		centrale deel	$1{,}5 \cdot 10^{10}$ $m_\odot$

E De lokale groep

naam		*afstand*	*visuele magnitude*	*klasse*	*diameter*	*massa*	*radiële snelheid*
(totaal plm. 60 stelsels)		10^{21} m			10^{19} m	$m_\odot$	10^{3} m s^{-1}
Krabstelsel M1= NGC 1952 ▸	Tau	0,066	8,4	supernovarestant	0,0057		
Dwergstelsel (dichtstbijzijnde)	CMa	0,22		Irr	0,0025		81
Grote Magelaense Wolk (LMC)	Dor	1,6	0,1	Irr SB(s)m	24	10^{10}	-270
Kleine Magelaense Wolk (SMC)	Tuc	2,0	2,3	dB(s)m pec	15	$1{,}5 \cdot 10^{9}$	158
Dwergstelsel Ursa Minor	UMi	1,9	10,9	dE4			-247
Dwergstelsel Sculptor	Scu	2,8	10,1	E (dwerg)			110
Stelsel Draco	Dra	2,5	10,9	dSph/E0 pec			-292
Fornax dwergstelsel	For	4,4	9,3	dSph/E2	19	$2 \cdot 10^{7}$	53
Dwergstelsel Leo I	Leo	8,5	9,8	dE3			285
Dwergstelsel Leo II	Leo	7,1	12,6	dSph/E0 pec			0
Barnard's stelsel NGC 6822	Sag	14	9,3	Irr (dwerg)	6	10^{9}	-40
IC 1613 = UGC 668	Cet	20	9,3	IBm	5,6		-234
M110 = Stelsel NGC 205	And	25	8,5	E5 E6p (dwerg)	13	10^{10}	-240
NGC 185	Cas	19	9,2	E3 Ell (dwerg)	2		-227
Andromedanevel M 31 = NGC 224	And	25	5,0	SA(s)b	160	$3 \cdot 10^{11}$	-275
Stelsel M 32 = NGC 221	And	25	9,5	E2 (dwerg)	7	$3 \cdot 10^{9}$	-210
NGC 147	Cas	21	9,5	E5 (dwerg)	8	$9 \cdot 10^{9}$	-250
Driehoekstelsel M 33 = NGC 598	Tri	27	7,8	SAc	50	$2{,}5 \cdot 10^{10}$	-190

▸ behoort tot onze Melkweg

Melkweg ⊂ Lokale groep ⊂ Virgo supercluster ⊂ superclusters ⊂ heelal

binnen deze afstand (ly)	*aantal sterren*	*aantal dwergstelsels*	*aantal grote melkwegstelsels*	*aantal clusters*	*aantal superclusters*
12,5	33				
250	$2{,}6 \cdot 10^5$				
$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^8$				
$5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^{11}$				
$5 \cdot 10^5$	$2{,}25 \cdot 10^{11}$	12	1		
$5 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^{11}$	46	3		
$1 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$	200	
$1 \cdot 10^9$	$2{,}5 \cdot 10^{17}$	$6 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^6$	$2{,}4 \cdot 10^5$	100
zichtbare heelal	$3 \cdot 10^{22}$	$7 \cdot 10^{12}$	$3{,}5 \cdot 10^{11}$	$2{,}5 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^7$

Voorbeelden van clusters

naam	*afstand* 10^{24} m	*radiële snelheid* 10^6 m s^{-1}	*aantal stelsels*	*rood verschuiving (relatief)*
cluster in Virgo	0,66	1,15	2500	0,004
cluster in Perseus	3,1	5,4	500	
cluster in Coma Berenices	3,8	6,7	1500	
cluster I in Ursa Major	8,8	15,5	300	0,05
cluster in Corona Borealis	12	21,7	400	
quasar PG 0804 + 761	16	28		0,1
cluster II in Ursa Major	23	40,4	400	0,13
cluster in Hydra	34	60,5		0,2
quasar 3 C 48	51	92		0,37
quasar 3 C 446	118	211		1,4
quasar PHL 957	145	258		2,69

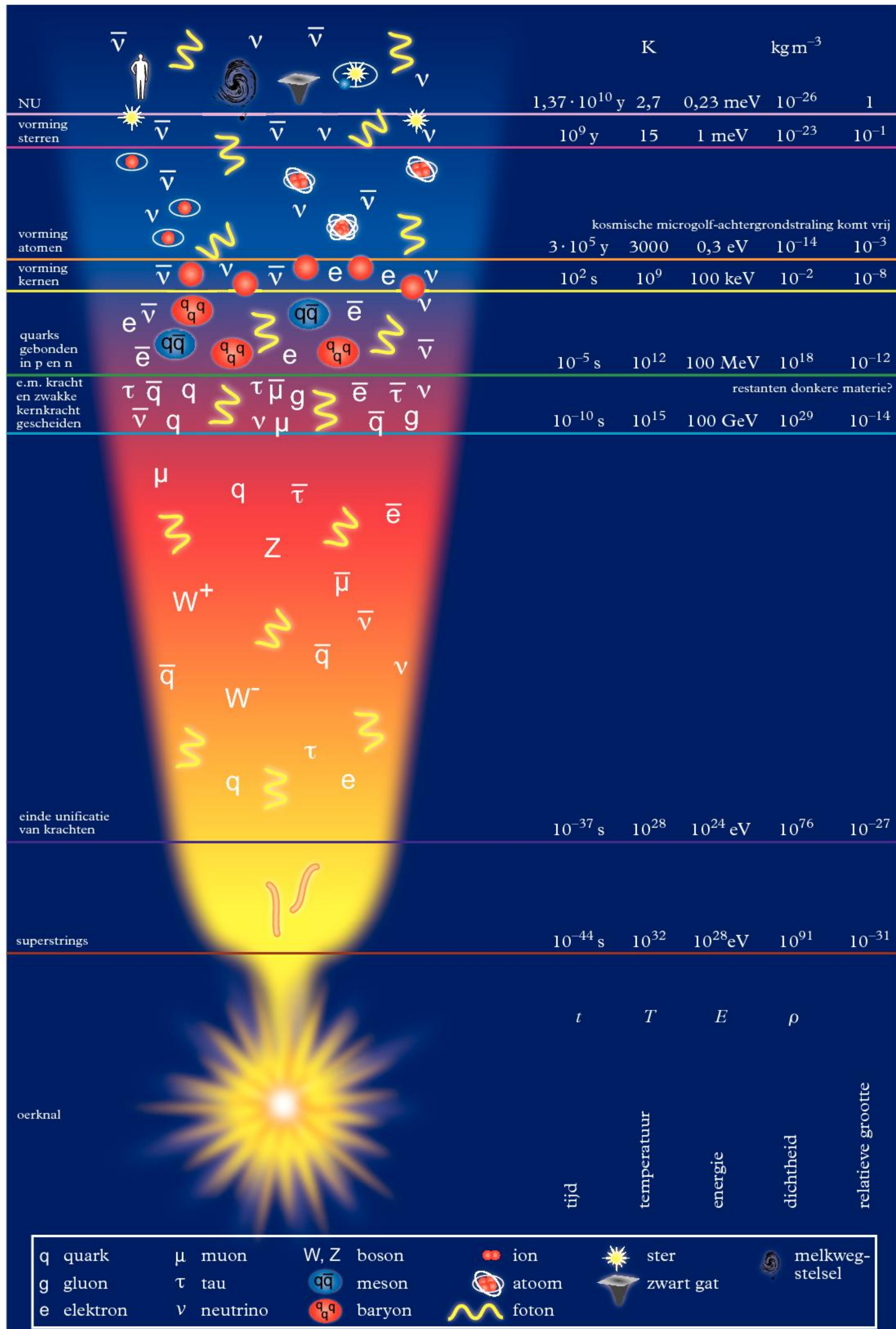
Hubble-constante $H_0 = 2{,}28\ (\pm 0{,}05) \cdot 10^{-18}$ m s^{-1} m^{-1}

Voorbeelden van exoplaneten

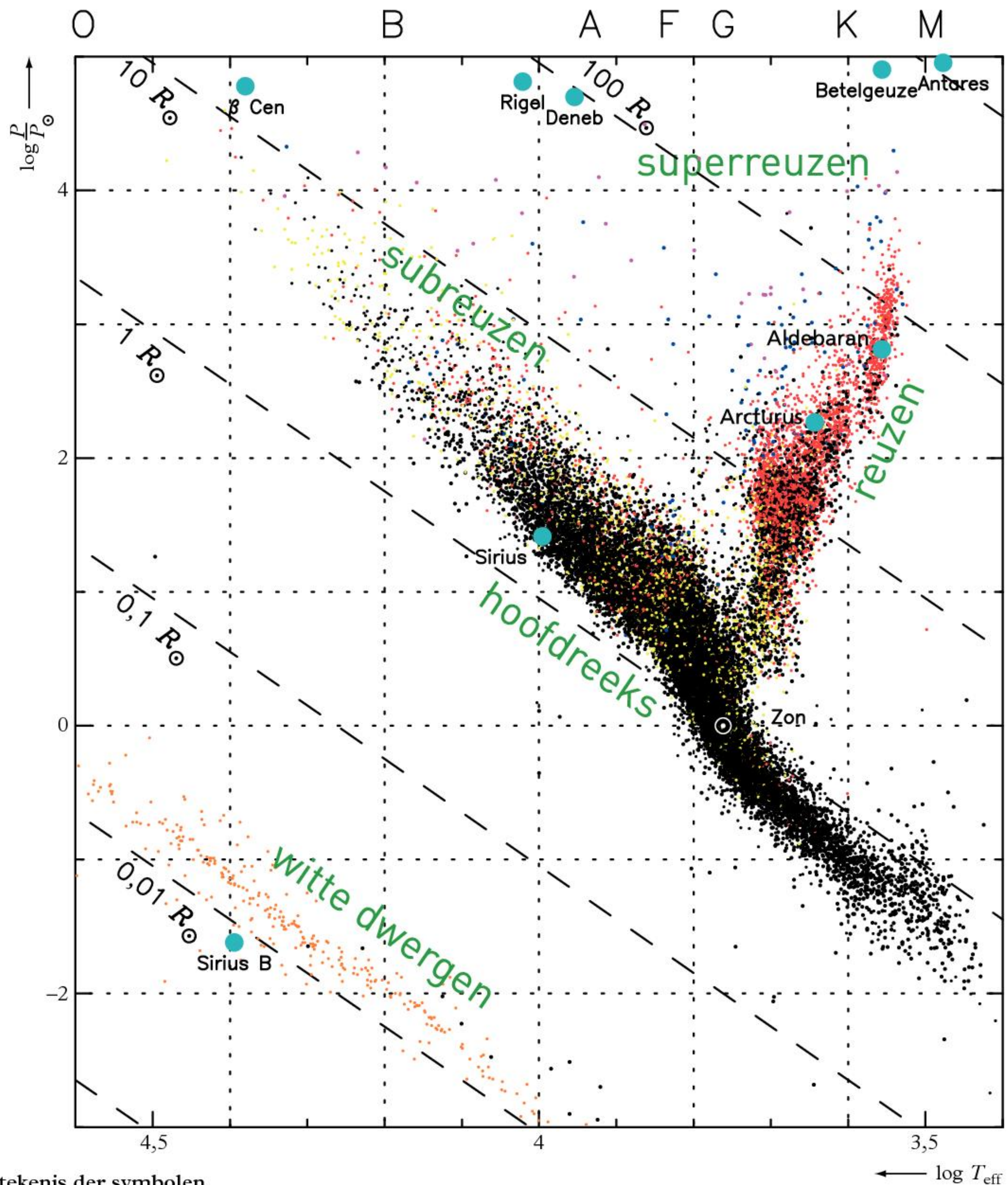
ster	*afstand* ly	*planeten*	*type* ►2	*afstand tot ster* AE	*omloopstijd* d	*straal* m	*massa* $m_\oplus$	*ontdekking*
HD114762 ►1	132	b	G	0,353	84		>3500	1989
PSR B1257	980	b	P	0,19	25	$1{,}4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^5$	1991
		c	P	0,36	66			1994
		d	P	0,46	98			1994
70 Virgo	59	b	G	0,48	116	$1{,}3 \cdot 10^9$	2400	1996
υ Andromedae	44	b	HJ	0,06	4,6		$2{,}3 \cdot 10^2$	1996
		c	HJ	0,83	241		$6{,}7 \cdot 10^2$	1999
		d	HJ	2,5	$1{,}3 \cdot 10^3$		$1{,}5 \cdot 10^3$	1999
Gliese 876	15,3	b	G	0,21	61,0		$6 \cdot 10^2$	1998
		c	G	0,13	30,1		$1{,}8 \cdot 10^2$	2000
		d	G	0,02	1,9		7,5	2005
		e	G	0,33	124		15	2010
Kepler 22	620	b	N	0,85	289,9	$1{,}53 \cdot 10^7$	35	2011
HAT-P-36 b	1035	b	G	0,024	1,3	$8{,}9 \cdot 10^7$	$5{,}9 \cdot 10^2$	2011

1 ► Bij ontdekking van nieuwe planeten krijgt de ster de naam a, de planeten heten b, c, d, etc.

2 ► type: G = gasreus, HJ = hete jupiterachtige, N = neptunusachtige, P = pulsarplaneet


K
kg m^{-3}
NU
$1{,}37 \cdot 10^{10}$ y 2,7 0,23 meV 10^{-26} 1
vorming sterren
10^9 y 15 1 meV 10^{-23} 10^{-1}
kosmische microgolf-achtergrondstraling komt vrij
vorming atomen
$3 \cdot 10^5$ y 3000 0,3 eV 10^{-14} 10^{-3}
vorming kernen
10^2 s 10^9 100 keV 10^{-2} 10^{-8}
quarks gebonden in p en n
10^{-5} s 10^{12} 100 MeV 10^{18} 10^{-12}
restanten donkere materie?
e.m. kracht en zwakke kernkracht gescheiden
10^{-10} s 10^{15} 100 GeV 10^{29} 10^{-14}
einde unificatie van krachten
10^{-37} s 10^{28} 10^{24} eV 10^{76} 10^{-27}
superstrings
10^{-44} s 10^{32} 10^{28}eV 10^{91} 10^{-31}
oerknal
t T E ρ
tijd
temperatuur
energie
dichtheid
relatieve grootte
q quark
g gluon
e elektron
μ muon
τ tau
ν neutrino
W, Z boson
meson
baryon
ion
atoom
foton
ster
zwart gat
melkwegstelsel

Spectraaltypen van sterren
Verband tussen de spectraalclassificatie en de temperatuur van sterren van de hoofdreeks



Betekenis der symbolen

P vermogen van de ster (wordt ook vaak lichtsterkte of lichtkracht *L* van de ster genoemd)

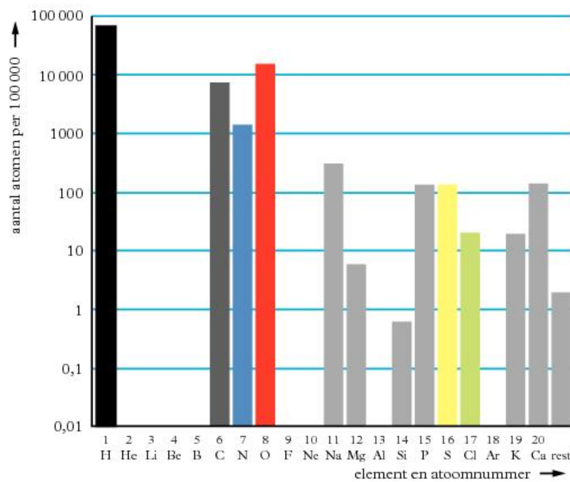
R straal van de ster

T temperatuur in K (alleen voor sterren van de hoofdreeks)

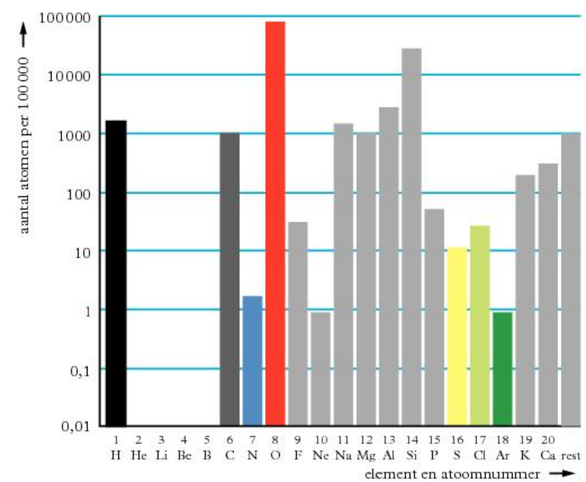
⊙ zon

● hoofdreeks
● subreus
● reus
● heldere reus
● superreus
● witte dwerg

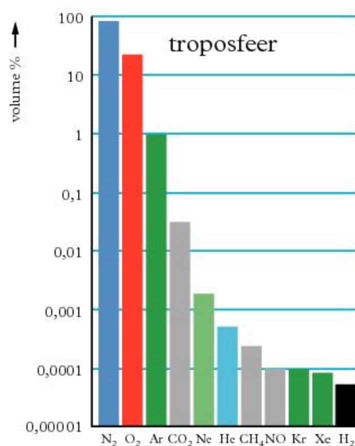
menselijk lichaam

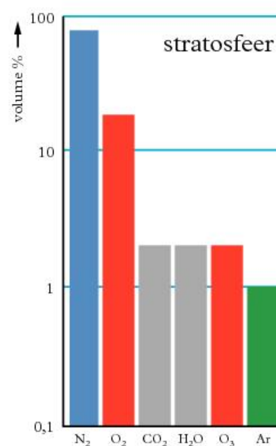


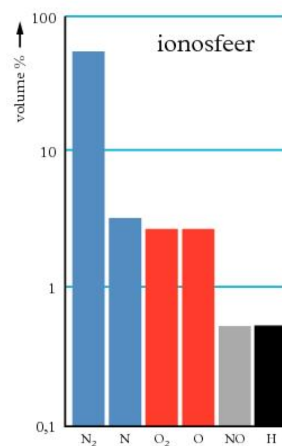
aardkorst ▶

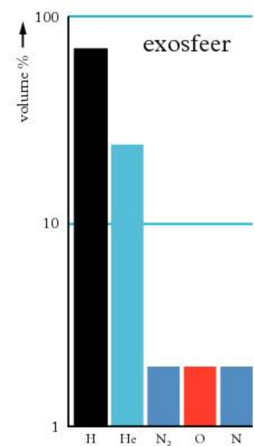


atmosfeer van de aarde

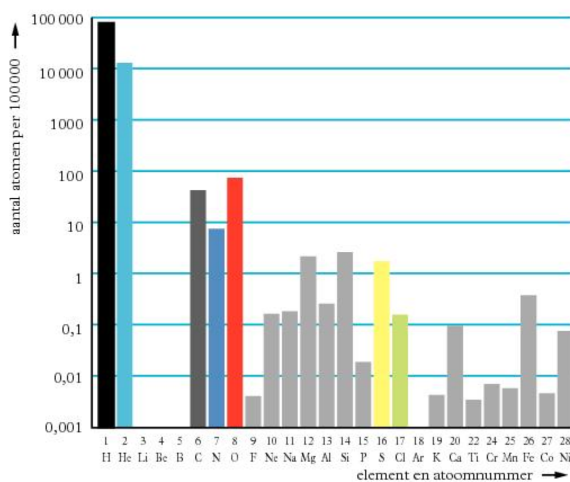




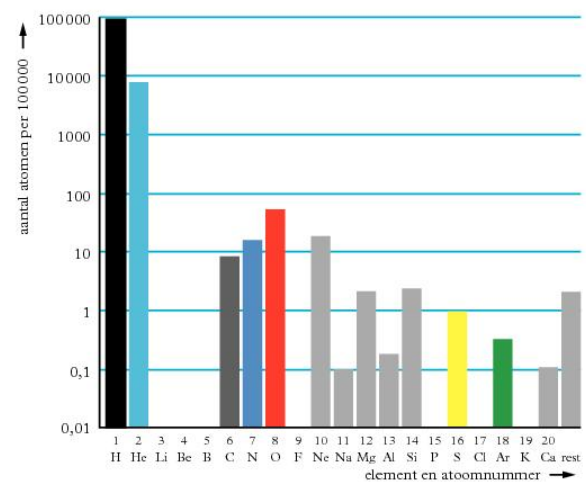




zon



heelal



■ De verticale schaal is logaritmisch.

▶ Zie ook tabel 40B.

	havo/vwo	vwo	overige
A1 Rechtlijnige beweging			
verplaatsing			$\Delta x = x_2 - x_1$
tijdsduur			$\Delta t = t_2 - t_1$
verplaatsing bij eenparige beweging	$s = vt$		
verplaatsing bij willekeurige beweging			$s = v_{gem}\, t$
plaatsfunctie eenparige beweging			$x_{(t)} = x_0 + vt$
gemiddelde snelheid	$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$		
snelheid	$v = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$	$v = \frac{dx}{dt}$	$v = x'$
gemiddelde versnelling	$a_{gem} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$		
versnelling	$a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$	$a = \frac{dv}{dt}$	$a = v' = x''$
eenparig versnelde beweging			
plaatsfunctie			$x_{(t)} = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$
snelheidsfunctie			$v_{(t)} = v_0 + at$
A2 Cirkelbeweging			
afgelegde baan			$s = \varphi r$ φ in rad
afgelegde hoek			$\varphi = \omega t$
hoeksnelheid			$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$
baansnelheid	$v = \frac{2\pi r}{T}$		$v = \omega r = 2\pi f r$
middelpuntzoekende versnelling			$a_{mpz} = \omega^2 r = \frac{v^2}{r} = \omega v$
middelpuntzoekende kracht	$F_{mpz} = \frac{mv^2}{r}$		$F_{mpz} = m\omega^2 r = m\omega v$
A3 Kracht en impuls			
resulterende kracht		$\vec{F}_{res} = \sum_i \vec{F}_i$	
tweede wet van Newton	$F_{res} = ma$	$\vec{F}_{res} = \sum_i \vec{F}_i = m\vec{a}$	
derde wet van Newton		$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$	
zwaartekracht	$F_z = mg$	$\vec{F}_z = m\vec{g}$	
maximale wrijvingskracht bij schuiven		$F_{w,s,max} = f F_n$	
luchtweerstandskracht		$F_{w,l} = \frac{1}{2}\rho C_w A v^2$	
veerkracht	$F_v = Cu$		
impuls			$p = mv$
wet van behoud van impuls			$\sum \vec{p}_{voor} = \sum \vec{p}_{na}$
kracht en impuls			$F = \frac{dp}{dt}$
krachtstoot (bewegingswet)			$\vec{S} = \vec{F}\Delta t = m\overrightarrow{\Delta v} = \overrightarrow{\Delta p}$

vervolg ▶

A Mechanica

	havo/vwo	*vwo*	*overige*
A4 Arbeid en energie			
arbeid	$W = Fs$	$W = Fs\cos\alpha$	$W = \int F_s \mathrm{d}s$
kinetische energie	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$		
zwaarte-energie	$E_z = mgh$		
veerenergie		$E_v = \frac{1}{2}Cu^2$	
wet van arbeid en energie	$W_{tot} = \Delta E_k$	$\sum W = \Delta E_k$	
wet van behoud van energie	$E_{tot,in} = E_{tot,uit}$	$\sum E_{in} = \sum E_{uit}$	
vermogen	$P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t} = Fv$		
chemische energie	$E_{ch} = r_V V$ $E_{ch} = r_m m$		
rendement	$\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{in}} = \frac{P_{nuttig}}{P_{in}}$		
windvermogen			$P = \frac{1}{2}\rho A v^3$
A5 Gravitatie			
gravitatiekracht	$F_g = G\frac{mM}{r^2}$		
gravitatie-energie (t.o.v. oneindig)		$E_g = -G\frac{mM}{r}$	
perkenwet van Kepler			$\omega r^2 = \text{constant}$
cirkelbaan van Kepler			$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$
A6 Vervorming			
druk			$p = \frac{F}{A}$
relatieve rek			$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$
elasticiteitsmodulus			$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$
mechanische spanning			$\sigma = \frac{F}{A}$
veerconstante	$C = \frac{F}{u}$		
wet van Hooke			$\frac{F}{A} = E\frac{\Delta l}{l_0}$
compressiemodulus			$K = -\frac{V}{\Delta V}p$
A7 Statica en rotatie			
hefboomwet	$F_1 r_1 = F_2 r_2$ ▸		
krachtmoment			$M = F_\perp r$
evenwichtsvoorwaarden			$\sum \vec{M} = 0$ en $\sum \vec{F} = 0$
hoeksnelheid			$\omega = \frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t} = \varphi'$
hoekversnelling			$\alpha = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = \omega' = \varphi''$
traagheidsmoment			
algemeen			$I = \sum_i m_i r_i^2$

vervolg ▶

	havo/vwo	vwo	overige
holle cilinder (lichaamsas)			$I = mR^2$
massieve cilinder (lichaamsas)			$I = \frac{1}{2}mR^2$
holle bol (as door M)			$I = \frac{2}{3}mR^2$
massieve bol (as door M)			$I = \frac{2}{5}mR^2$
schijf (as in vlak schijf door M)			$I = \frac{1}{4}mR^2$
staaf (as ⊥ staaf door M)			$I = \frac{1}{12}ml^2$
staaf (as ⊥ staaf door eindpunt)			$I = \frac{1}{3}ml^2$
impulsmoment voorwerp			$L = I\omega$
impulsmoment puntmassa			$L = mv_{\perp}r$
krachtmoment			$M = I\alpha$
rotatie-energie			$E = \frac{1}{2}I\omega^2$
torsieconstante			$\kappa = \frac{M}{\varphi}$

Trillingen, golven en optica B

	havo/vwo	vwo	overige
B1 Trillingen			
frequentie	$f = \frac{1}{T}$		
faseverschil, faseachterstand		$\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T}$	
harmonische trilling			
uitwijking		$u = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$	
maximale snelheid		$v_{max} = \frac{2\pi A}{T}$	
kracht		$\vec{F}_{res} = -C\vec{u}$	
gedempte harmonische trilling			$u_{(t)} = Ae^{-\delta t}\sin(2\pi ft)$
trillingstijd			
massa-veersysteem	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$		
mathematische slinger			$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
fysische slinger			$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}}$
torsieslinger			$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{\kappa}}$
B2 Golven			
golfsnelheid	$v = f\lambda$		$v = \frac{\lambda}{T}$
faseachterstand		$\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda}$	
voorplantingssnelheid lopende golf			
transversale golf in koord of snaar			$v = \sqrt{\frac{F_s l}{m}}$

vervolg ▶

	havo/vwo	vwo	overige
transversale golf aan vloeistofoppervlak			$v = \sqrt{gh}$
longitudinale golf in vaste stof			$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$
longitudinale golf in vloeistof			$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$
longitudinale golf in gas			$v = \sqrt{\frac{C_p}{C_V}\frac{p}{\rho}} = \sqrt{\frac{C_p}{C_V}\frac{RT}{M}}$
voorwaarde voor staande golf			
twee vaste of twee open uiteinden		$l = n\frac{1}{2}\lambda$	
een open en een gesloten uiteinde		$l = (2n-1)\frac{1}{4}\lambda$	
brekingswet van Huygens			$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = n_{1\to 2}$
dopplereffect (klassiek)			$f_w = f_b \frac{v - v_w}{v - v_b}$
geluiddrukniveau in dB(A); $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa			$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0}$
geluidintensiteitsniveau in dB(A); $I_0 = 10^{-12}$ W m^{-2}			$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$
intensiteit volgens kwadratenwet		$I = \frac{P_{bron}}{4\pi r^2}$	
B3 Geometrische optica			
terugkaatsingswet			$\angle i = \angle t$
brekingswet			$n_{1\to 2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$
brekingswet van Snellius			$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{1\to 2}$
lenzenformule			$S = \frac{1}{b} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$
vergroting			$N_{lin} = \left\lvert \frac{b}{v} \right\rvert$
grenshoek			$\sin g = \frac{1}{n}$
hoekvergroting loep bij ongeaccommodeerd oog			$N_{ang} = \frac{n}{f}$
sterkte dunne lens			$S = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$
sterkte lenzenstelsel			$S = S_1 + S_2 + \ldots$
vergroting telescoop			$N_{ang} = \frac{f_{obj}}{f_{oc}}$
bolle (holle) spiegel			$\frac{1}{b} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$
B4 Golfoptica			
maxima tralie		$d \sin \alpha_n = n\lambda$	
dubbele spleet			$d \sin \alpha_n = n\lambda$
braggreflectie			$2d \sin \alpha_n = n\lambda$

vervolg

	havo/vwo	*vwo*	*overige*
C1 Algemeen			
dichtheid	$\rho = \frac{m}{V}$		
druk			$p = \frac{F}{A}$
debiet	$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = Av$ ▸		
temperatuur	$T_{celsius} = T_{kelvin} - 273{,}15$		
uitzetting:			
lengte			$l = l_0(1 + \alpha\Delta T)$
volume			$V = V_0(1 + \gamma\Delta T)$ $\gamma = 3\alpha$
C2 Vloeistoffen			
druk (statisch)			$p = \rho g h$
druk (bewegend)			$p = \frac{1}{2}\rho v^2$
wet van Archimedes			$F_{opw} = \rho g V$
continuïteit			Av = constant
wet van Bernoulli			$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h$ = constant
wet van Stokes			$F_w = 6\pi\eta r v$
wet van Poiseuille			$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\pi r^4}{8\eta l}\Delta p$
C3 Gassen			
algemene gaswet			$pV = nRT$
formule van Van der Waals			$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$
uitzetting			
constante druk			$V_t = V_0(1 + \gamma\Delta T)$
constant volume			$p_t = p_0(1 + \gamma\Delta T)$
molaire massa			$M = N_A m_{molecuul}$
massa van een hoeveelheid gas			$m = nM$
adiabaat			pV^γ = constant $\gamma = \frac{c_p}{c_V}$
gemiddelde absolute snelheid			$\overline{\lvert v \rvert} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_m}}$
meest waarschijnlijke snelheid			$v_w = \sqrt{\frac{2kT}{m_m}}$
C4 Warmteleer			
soortelijke warmte	$Q = cm\Delta T$		$c = \frac{C}{m}$
soortelijke warmte gas			
bij constante druk			$c_p = \frac{Q_p}{m\Delta T}$
bij constant volume			$c_V = \frac{Q_V}{m\Delta T}$
smeltwarmte			$r_s = \frac{Q_s}{m}$

vervolg ▸

35 Natuurkundeformules

C Vloeistoffen, gassen en warmteleer

	havo/vwo	*vwo*	*overige*
verdampingswarmte			$r_v = \frac{Q_v}{m}$
uitwendige arbeid verricht door een gas			$W_u = p\Delta V$
eerste hoofdwet			$Q = \Delta E_{pot} + \Delta E_k + W_u$
rendement motor			$\eta = \frac{W_u}{Q}$
rendement carnotmachine			$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
tweede hoofdwet			$\eta = \frac{W_u}{Q} < 1$
entropie			$S = k \ln W$
entropieverandering			$\Delta S = \int \frac{1}{T} dQ$
warmtestroom	$P = \lambda A \frac{\Delta T}{d}$ ▸		$P = \frac{dQ}{dt}$

D Elektriciteit en magnetisme

D1 Stromende elektriciteit

	havo/vwo	*vwo*	*overige*
stroomsterkte	$I = \frac{Q}{t}$		
spanning		$U = \frac{\Delta E}{Q}$	
wet van Ohm	$U = IR$		$I = GU$
geleidbaarheid			$G = \frac{1}{R}$
serieschakeling			
stroomsterkte	$I_{tot} = I_1 = I_2 = ...$		
spanning	$U_{tot} = U_1 + U_2 + ...$		
weerstand en geleiding	$R_{tot} = R_1 + R_2 + ...$		$\frac{1}{G_{tot}} = \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} + ...$
parallelschakeling			
stroomsterkte	$I_{tot} = I_1 + I_2 + ...$		
spanning	$U_{tot} = U_1 = U_2 = ...$		
weerstand en geleiding	$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ...$		$G_{tot} = G_1 + G_2 + ...$
vermogen elektrische stroom	$P = UI$		
energie	$E = Pt$		
soortelijke weerstand	$\rho = \frac{RA}{l}$		
weerstand afhankelijk van temperatuur			$R_t = R_0(1 + \alpha\Delta T)$
wetten van Kirchhoff			
stroomsterkte: voor een punt			$\sum_i I_i = 0$
spanning: voor een kring			$\sum_i U_i = 0$
elektrolyse			$m = AIt = \frac{A_r}{Fv} It$

vervolg ▶

	havo/vwo	vwo	overige
D2 Elektrisch veld			
wet van Coulomb		$F_{el} = f\frac{qQ}{r^2}$	$f = \frac{1}{4\pi\varepsilon_r\varepsilon_0}$
spanning (t.o.v. ∞) bij een puntlading			$U_{el} = f\frac{Q}{r}$
elektrische veldkracht		$\vec{F}_{el} = q\vec{E}$	
veldsterkte en spanning			$E = \frac{U}{\Delta x}$
toename elektrische energie		$\Delta E_{el} = qU$	
kinetische energie in elektrisch veld		$\Delta E_k = -\Delta E_{el}$	
arbeid door elektrisch veld			$W_{A\rightarrow B} = qU_{AB}$
condensator			
capaciteit			$C = \frac{Q}{U}$
energie			$E = \frac{1}{2}CU^2$
stroom bij opladen			$I_{(t)} = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$
spanning bij opladen			$U_{(t)} = U_\infty\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$
serie			$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots$
parallel			$C_{tot} = C_1 + C_2 + \ldots$
D3 Magnetisch veld			
lorentzkracht			
op stroomvoerende draad		$F_L = BIl$	$F_L = BIl\sin\alpha$
op bewegend geladen deeltje		$F_L = Bqv$	$F_L = Bqv\sin\alpha$
magnetische flux		$\Phi = B_\perp A$	$\Phi = BA\cos\alpha$
magnetische inductie (veldsterkte)			$\mu = \mu_0\mu_r$
bij een lange draad			$B = \mu\frac{I}{2\pi r}$
magnetische inductie			
in een lange spoel			$B = \mu\frac{NI}{l}$
in een korte spoel			$B = \mu\frac{NI}{l}\frac{l}{\sqrt{l^2 + 4r^2}}$
ten gevolge van één winding			$B_{as} = \frac{1}{2}\mu\frac{r^2 I}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$
wet van Ampère			$F = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_1 I_2}{r}l$
D4 Wisselstroom en inductie			
inductiespanning		$U_{ind} \propto N$	
		$U_{ind} \propto \frac{d\Phi}{dt}$	$U_{ind} = -N\frac{d\Phi}{dt}$
zelfinductiespanning			$U_{zelfind} = -L\frac{dI}{dt}$

vervolg

D Elektriciteit en magnetisme

	havo/vwo	vwo	overige
coëfficiënt van zelfinductie			
lange spoel			$L = \mu\frac{N^2 A}{l}$
in serie			$L_{tot} = L_1 + L_2 + \ldots$
parallel			$\frac{1}{L_{tot}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots.$
energie van stroomspoel			$E = \frac{1}{2}LI^2$
stroomsterkte in stroomspoel bij uitschakelen			$I_{(t)} = I_0 e^{-\frac{R}{L}t}$
capaciteit plaatcondensator			$C = \frac{\varepsilon A}{d}$
wisselspanning			$U = U_{max}\sin(2\pi ft)$
wisselstroom			$I = I_{max}\sin(2\pi ft)$
effectieve spanning			$U_{eff} = \frac{1}{2}\sqrt{2}\, U_{max}$
effectieve stroomsterkte			$I_{eff} = \frac{1}{2}\sqrt{2}\, I_{max}$
effectief vermogen			$P_{eff} = U_{eff}I_{eff} = \frac{1}{2}P_{max}$
(ideale) transformator			
spanning			$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$
stroomsterkte			$\frac{U_p}{U_s} = \frac{I_s}{I_p}$
vermogen			$P_p = P_s$

E Overige onderwerpen

	havo/vwo	vwo	overige
E1 Straling			
wet van Stefan-Boltzmann		$P_{bron} = \sigma A T^4$	
wet van Wien	$\lambda_{max} T = k_W$		
dopplerverschuiving		$v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}c$	
wet van Lambert-Beer			$I_{(x)} = I_0 e^{-\alpha x}$
E2 Atoomfysica			
energie van een foton	$E_f = hf$	$E_f = \frac{hc}{\lambda}$	
snelheid e.m. straling	$c = f\lambda$		
spectraallijn		$E_f = \lvert E_m - E_n \rvert$	
uittree-arbeid			$W = hf_{grens}$
foto-elektrisch effect			$E_k \leq hf - W_u$
impuls van een foton			$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$
atoommodel van Bohr			
baanstraal			$r_n = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m_e} n^2$
energie waterstofatoom		$E_n = -\frac{13{,}6\,(\text{in eV})}{n^2}$	$E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2}$

vervolg

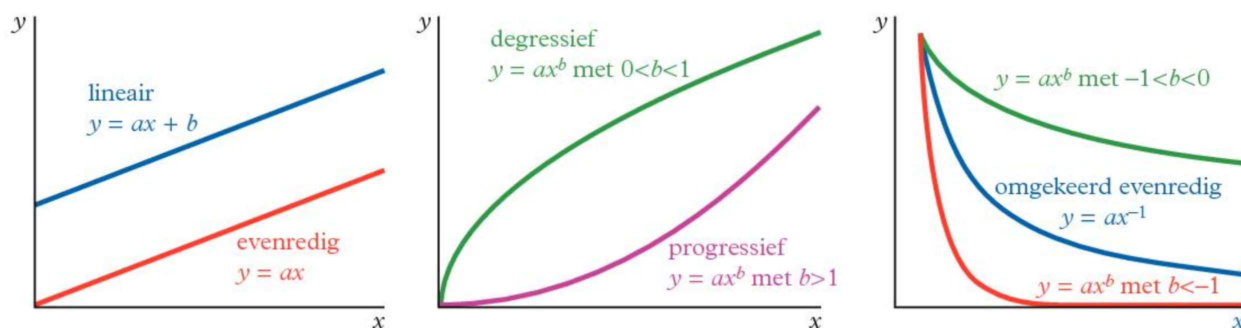
	havo/vwo	*vwo*	*overige*
E3 Kernfysica en radioactiviteit			
aantal nucleonen in kern	$A = N + Z$		
massa-energierelatie		$E = mc^2$	
aantal moederkernen	$N = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^n \quad n = \frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}$	$N = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}$	
(radio)activiteit	$A = -\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$	$A = -\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t}$	
	$A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$	$A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}}N$	
	$A = A_0\left(\frac{1}{2}\right)^n \quad n = \frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}$	$A = A_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}$	
verzwakking γ-straling	$I = I_0\left(\frac{1}{2}\right)^n \quad n = \frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}$	$I = I_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}}$	
gemiddelde energie β-deeltje			$\overline{E} = \frac{1}{3}E_{\text{max}}$
(geabsorbeerde stralings)dosis	$D = \frac{E}{m}$		
dosisequivalent	$H = w_{\text{R}}D$		
effectieve totale lichaamsdosis			$H_{\text{eff}} = \sum w_{\text{org}}H_{\text{org}}$
effectieve halveringstijd			$t_{\frac{1}{2}\text{eff}} = \frac{t_{\frac{1}{2}} \cdot t_{\frac{1}{2}\text{biol}}}{t_{\frac{1}{2}} + t_{\frac{1}{2}\text{biol}}}$
E4 Quantummechanica			
golflengte van de Broglie		$\lambda = \frac{h}{m_0 v}$	$\lambda = \frac{h}{p}$
onzekerheidsrelatie van Heisenberg (plaats en impuls)			$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$
deeltje-in-een-doosje-model (eendimensionaal)		$E_n = \frac{n^2h^2}{8mL^2}$	
normeringsvoorwaarde			$\int_{-\infty}^{\infty} \lvert\psi_{(x)}\rvert^2 \mathrm{d}x = 1$
schrödingervergelijking (waterstofatoom)			$\frac{\mathrm{d}^2\psi}{\mathrm{d}x^2}+\frac{\mathrm{d}^2\psi}{\mathrm{d}y^2}+\frac{\mathrm{d}^2\psi}{\mathrm{d}z^2} = -\frac{8\pi^2 m}{h^2}\left(E+\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}\right)\psi$
E5 Vaste-stof-fysica			
driftsnelheid			$v_{\text{D}} = \frac{eU}{m_e l}\tau$
stroom			$I = nev_{\text{D}}A$
hallspanning			$U_{\text{H}} = Bv_{\text{D}}b$
PTC-weerstand			$R = R_0(1 + \alpha t)$
NTC-weerstand			$R_{(T)} = C\mathrm{e}^{\frac{B}{T}}$
E6 Relativiteitstheorie			
energie (Einstein)		$E = mc^2$	$E = \sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2}$
gammafactor			$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

vervolg

	havo/vwo	vwo	overige
tijddilatatie (tijdrek)			$\Delta t_b = \frac{\Delta t_e}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma \Delta t_e$
lorentzcontractie (lengtekrimp)			$l_b = l_e \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{l_e}{\gamma}$
samenstellen snelheden			$w = \frac{u+v}{1+\frac{uv}{c^2}}$
dopplereffect			$f_b = f_e \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$
relativistische massa			$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma m_0$
E7 Weerkunde en natuurkunde van de atmosfeer			
barometrische hoogteverdeling			$p_{(h)} = p_0 e^{-\frac{M_r g h}{R T}}$
ideale gaswet voor open systemen			$\rho = \frac{pM}{RT}$
relatieve luchtvochtigheid			$e_{(T)} = \frac{p_{(T)}}{p_{\max(T)}}$
wolkenhoogte			$h_c = c_1 (T - T_d)$
valsnelheid voor kleine regendruppels (mist)			$v = \frac{2\rho g}{9\eta} r^2$

► Formule hoort niet bij het examenprogramma vwo.

Verbanden A



Lengte, oppervlakte en volume B

		lengte	oppervlakte	volume
	cirkel $d = 2r$	omtrek $2\pi r$	πr^2	
	boog	αr		
	sector met middelpuntshoek α		$\frac{1}{2}\alpha r^2$	
	bol		$4\pi r^2$	$\frac{4}{3}\pi r^3$
	cilinder		$2\pi rh + 2\pi r^2$	$\pi r^2 h$
	kegel		$\pi r\sqrt{r^2 + h^2} + \pi r^2$	$\frac{1}{3}\pi r^2 h$
	piramide			$\frac{1}{3}Ah$

Vierkantsvergelijking C

De oplossingen van $ax^2 + bx + c = 0$ zijn: $x_{1,2} = \dfrac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ $(a \neq 0 \text{ en } b^2 - 4ac \geq 0)$

Machten en logaritmen D

$a^p \cdot a^q = a^{p+q}$	$(a > 0)$	$(a^p)^q = a^{pq}$	$(a > 0)$
$(a \cdot b)^p = a^p \cdot b^p$	$(a, b > 0)$	$a^{-p} = \left(\frac{1}{a}\right)^p = \frac{1}{a^p}$	$(a > 0)$
$b = a^p \Leftrightarrow a = b^{\frac{1}{p}}$	$(a, b > 0 ; p \neq 0)$		
$y = a^x \Leftrightarrow x = {}^a\log y$	$(a, y > 0 ; a \neq 1)$	$y = \mathrm{e}^x \Leftrightarrow x = \ln y$	$(y > 0)$
${}^a\log uv = {}^a\log u + {}^a\log v$	$(a > 0 ; u, v > 0)$		
${}^a\log u^v = v \cdot {}^a\log u$	$(a > 0 ; a \neq 1 ; u > 0)$		
${}^a\log u = \dfrac{{}^b\log u}{{}^b\log a}$	$(a, b, u > 0 ; a, b \neq 1)$		

E Cirkel, ellips, hyperbool, parabool

cirkel	$x^2 + y^2 = r^2$		
ellips	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$	excentriciteit	$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$
hyperbool	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$	raaklijnen	$y = \pm \frac{b}{a} x$
parabool	$y = ax^2$	afstand brandpunt-top	$\frac{1}{4} a$

F Differentiëren en integreren

functie	*afgeleide*	*primitieve*	
$f(x)$	$f'(x) = \frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}x}$	$F(x) = \int f(x)\,\mathrm{d}x$	
$f(x) + g(x)$	$f'(x) + g'(x)$		
$C \cdot f(x)$	$C \cdot f'(x)$		
$f(x) \cdot g(x)$	$f'(x) \cdot g(x) + f(x) \cdot g'(x)$		
$\frac{f(x)}{g(x)}$	$\frac{f'(x) \cdot g(x) - f(x) \cdot g'(x)}{g^2(x)}$		
$f(g(x))$	$g'(x) \cdot f'(g(x))$		

ax^n	nax^{n-1}	$\frac{1}{n+1} ax^{n+1} + C$	$(n \neq -1)$
$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$	$\ln x + C$	
$\sin x$	$\cos x$	$-\cos x + C$	
$\cos x$	$-\sin x$	$\sin x + C$	
$\tan x$	$\frac{1}{\cos^2 x}$	$-\ln \cos x + C$	
$\ln x$	$\frac{1}{x}$	$x \ln x - x + C$	
$^a\log x$	$\frac{1}{x \ln a}$	$\frac{1}{\ln a}(x \ln x - x) + C$	$(a > 0)$
e^{ax}	ae^{ax}	$\frac{1}{a} e^{ax} + C$	$(a \neq 0)$
p^x	$p^x \cdot \ln p$	$\frac{1}{\ln p} \cdot p^x + C$	$(p > 0, p \neq 1)$

Goniometrie G

$\sin(-t) = -\sin t$ $\quad$ $\cos(-t) = \cos t$ $\quad$ $\tan t = \dfrac{\sin t}{\cos t}$

$\sin\left(\tfrac{1}{2}\pi - t\right) = \cos t$ $\quad$ $\cos\left(\tfrac{1}{2}\pi - t\right) = \sin t$ $\quad$ $\tan\left(\tfrac{1}{2}\pi - t\right) = \dfrac{1}{\tan t}$

$\sin 2t = 2\sin t \cdot \cos t$ $\quad$ $\cos 2t = \cos^2 t - \sin^2 t = 2\cos^2 t - 1 = 1 - 2\sin^2 t$

sinusregel: $\dfrac{a}{\sin\alpha} = \dfrac{b}{\sin\beta} = \dfrac{c}{\sin\gamma} = 2r$ (r is de straal van de omschreven cirkel)

cosinusregel: $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma$

$\sin(\alpha + \beta) = \sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta$

$\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\left(\tfrac{1}{2}(\alpha + \beta)\right)\cos\left(\tfrac{1}{2}(\alpha - \beta)\right)$

Rijen en reeksen H

rekenkundige rij $\quad$ $\sum\limits_{i=1}^{n} a + (i-1)v = na + \dfrac{n(n-1)}{2}v$

meetkundige rij $\quad$ $\sum\limits_{i=1}^{n} ar^{i-1} = a\dfrac{r^n - 1}{r - 1}$ $\quad$ $\sum\limits_{i=1}^{\infty} ax^{i-1} = a\dfrac{1}{1-x}$ $\quad$ $(-1 < x < 1)$

Taylor $\quad$ $f(a+h) = f(a) + hf'(a) + \dfrac{h^2}{2!}f''(a) + \dfrac{h^3}{3!}f'''(a) + \ldots\ldots + \dfrac{h^n}{n!}f^{(n)}(a + \theta h)$ met $0 < \theta < 1$

$e^x = 1 + x + \dfrac{x^2}{2!} + \dfrac{x^3}{3!} + \ldots\ldots\ldots\ldots$

$\sin x = x - \dfrac{x^3}{3!} + \dfrac{x^5}{5!} - \ldots\ldots\ldots\ldots$

$\cos x = 1 - \dfrac{x^2}{2!} + \dfrac{x^4}{4!} - \ldots\ldots\ldots\ldots$

$\ln(x+1) = x - \dfrac{x^2}{2} + \dfrac{x^3}{3} - \ldots\ldots\ldots\ldots$ $\quad$ $(-1 < x < 1)$

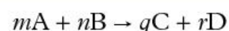
$(1 \pm a)^n \approx 1 \pm na$ $\quad$ voor $|a| \ll 1$

Wiskundige notaties I

som	$\sum\limits_{i=1}^{n} a_i = a_1 + a_2 + a_3 + \ldots\ldots\ldots a_n$	
product	$\prod\limits_{i=1}^{n} a_i = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \ldots\ldots\ldots \cdot a_n$	
faculteit	$n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \ldots\ldots\ldots \cdot n$	
binomiaalcoëfficiënt	$\dbinom{n}{k} = \dfrac{n!}{k!\,(n-k)!}$	
J-kromme	$f(x) = ae^{bx}$	$\dfrac{df}{dx} = bf$
S-kromme	$f(x) = \dfrac{a}{b + e^{cx}}$	$\dfrac{df}{dx} = cf\left(1 - \dfrac{b}{a}f\right)$

37 Scheikundeformules

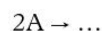
A Reactiesnelheid

reactie:  $mA + nB \rightarrow qC + rD$

reactiesnelheid: $s = -\frac{1}{m}\frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{n}\frac{d[B]}{dt} = +\frac{1}{q}\frac{d[C]}{dt} = +\frac{1}{r}\frac{d[D]}{dt}$

1e orde reactie:  $A \rightarrow \ldots$

$s = k[A]$ $\qquad \ln\frac{[A]_0}{A} = kt$

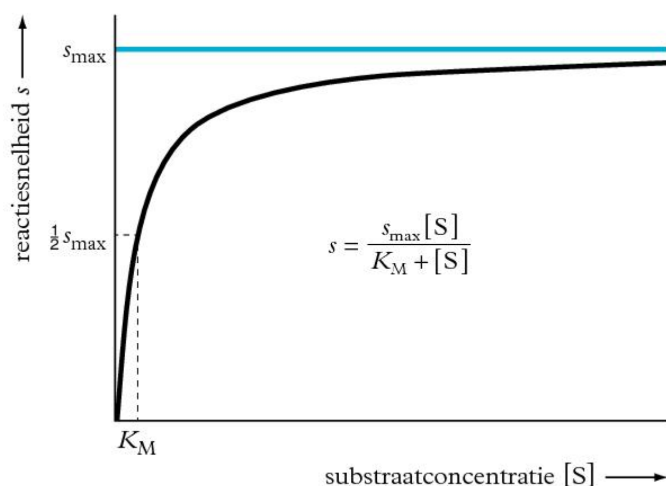
2e orde reactie:  $2A \rightarrow \ldots$

$s = k[A]^2$ $\qquad \frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = kt$

 $A + B \rightarrow \ldots$

$s = k[A][B]$ $\qquad \frac{1}{[A]_0 - [B]_0}\ln\frac{[A][B]_0}{[A]_0[B]} = kt$

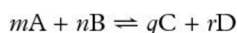
enzymatische reactie (Michaelis-Menten)



verband tussen reactieconstante (k_T) en activeringsenergie (E_a): $k_T = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$

$$E_a = R\frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2}\ln\frac{k_{T_1}}{k_{T_2}}$$

B Chemisch evenwicht

homogeen systeem  $mA + nB \rightleftharpoons qC + rD$

concentratiebreuk $Q_c = \frac{[C]^q[D]^r}{[A]^m[B]^n}$

voor gasevenwichten geldt ook $Q_p = \frac{p_C{}^q p_D{}^r}{p_A{}^m p_B{}^n}$

bij evenwicht geldt $Q_c = K_c$

voor gasvormige stoffen geldt ook $Q_p = K_p$

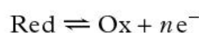
$\log K_c' = \log K_p + (m + n - q - r)\log RT$

- K_c' in SI-eenheden

Thermodynamica C

verandering van gibbsenergie (vrije-enthalpieverandering)	$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ (bij constante T)	
bij benadering geldt	$\Delta G^0(T) = \Delta H^0(298) - T\Delta S^0(298)$	
verband tussen de evenwichtsconstante en de verandering van de gibbsenergie	$\Delta G^0(T) = -RT\ln K$	

Elektrochemie D

stroomsterkte	$I = \dfrac{Q}{t}$	
constante van Faraday	$F = N_A e = \dfrac{Q}{n}$	
vergelijkingen van Nernst voor de halfreactie	Red  Ox + $n\,e^-$	
	$E = E^0 + \dfrac{RT}{nF}\ln\dfrac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]} = E^0 + \dfrac{0{,}059}{n}\log\dfrac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]}$ bij 298 K	

Spectrometrie E

wet van Lambert-Beer	$E = \varepsilon[\text{A}]l$	
extinctie	$E = -\log\dfrac{I}{I_0}$	
transmissie	$T = \dfrac{I}{I_0}$	
trillingsfrequentie	$f = \dfrac{1}{2\pi c}\sqrt{\dfrac{k}{\mu}}$	k = bindingssterkte
gereduceerde massa	$\mu = \dfrac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$	

Chromatografie F

capaciteitsverhouding	$k_i' = \dfrac{t_{Ri} - t_{R0}}{t_{R0}} = \dfrac{c_s V_s}{c_m V_m}$	t_R = retentietijd
resolutiefactor	$R_S = \dfrac{1{,}18\,\Delta t_R}{\sigma_1 + \sigma_2}$	σ = piekbreedte op halve piekhoogte
als $\sigma_1 = \sigma_2$ geldt	$R_S = \dfrac{k_2' - k_1'}{4(1 + k_2')}\sqrt{N}$	N = schotelgetal
Rf-waarde	$Rf = \dfrac{\text{afstand van startlijn tot zwaartepunt stofvlek}}{\text{afstand startlijn tot vloeistoffront}}$	

37 Scheikundeformules

G Een aantal basisrelaties

chemische hoeveelheid	$n = \frac{m}{M}$
aantal deeltjes	$N = nN_A$
molaire volume	$V_m = \frac{V}{n}$
concentratie	$c(B) = \frac{n_B}{V_{oplossing}}$ of $[B] = \frac{n_B}{V_{oplossing}}$
massaconcentratie	$\gamma(B) = \frac{m_B}{V_{oplossing}}$
dichtheid	$\rho = \frac{m}{V}$

H Groene chemie

atoomeconomie	$\frac{m_{product}}{m_{beginstoffen}} \times 100\%$	Zie tabel 97A.
rendement	$\frac{\text{praktische opbrengst}}{\text{theoretische opbrengst}} \times 100\%$	
E-factor	$\frac{m_{beginstoffen} - m_{werkelijke\ opbrengst\ product}}{m_{werkelijke\ opbrengst\ product}}$	

I Zuurtegraad

pH	$pH = -\log[H_3O^+]$ $[H_3O^+] = 10^{-pH}$
pOH	$pOH = -\log[OH^-]$ $[OH^-] = 10^{-pOH}$
waterconstante	$K_w = [H_3O^+][OH^-]$ $pK_w = pH + pOH$

symbool	*betekenis*	*eenheid*	*omschrijving*
Z	atoomnummer	–	aantal protonen in de kern
A_r	relatieve atoommassa	– ▸1	massa van 1 atoom gedeeld door $\frac{1}{12}$ van de massa van het atoom ^{12}C
M_r	relatieve molecuulmassa	– ▸1	massa van 1 molecuul gedeeld door $\frac{1}{12}$ van de massa van het atoom ^{12}C
d	relatieve dichtheid (t.o.v. waterstof)	–	massa van *a* liter gasvormige stof gedeeld door de massa van *a* liter waterstofgas, gemeten bij dezelfde temperatuur en druk
N		–	aantal moleculen
n	hoeveelheid stof	mol	
N_A	constante van Avogadro	mol^{-1}	molaire deeltjesaantal ($6{,}022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ mol^{-1})
M	molaire massa	$g\,mol^{-1}$	massa per mol stof
ρ	dichtheid	$kg\,m^{-3} = g\,L^{-1}$ ▸2	
m	massa	kg of g ▸2	
p	druk	Pa	
p_0	standaarddruk	Pa	101 325 Pa = 1,01325 bar
p_A	partiële druk van A	Pa	
T	temperatuur	K	
V	volume	L ▸2	
V_m	molair volume	$L\,mol^{-1}$	volume per mol stof
[B]	concentratie van B	$mol\,L^{-1}$	chemische hoeveelheid van deeltjessoort B dat per liter aanwezig is
$[B]_0$	beginconcentratie van B	$mol\,L^{-1}$	chemische hoeveelheid van deeltjessoort B dat per liter aanwezig is bij het begin van de reactie
a M	molariteit *a* ▸3	$mol\,L^{-1}$	*a* = chemische hoeveelheid stof per liter oplossing
R	gasconstante	$J\,mol^{-1}\,K^{-1}$	$8{,}314\,462\,618\,153\,24$ $J\,mol^{-1}\,K^{-1}$
k	reactieconstante	$L^n mol^{-n} s^{-1}$ ▸4	
s	reactiesnelheid	$mol\,L^{-1}\,s^{-1}$	
K_c of K	(concentratie-) evenwichtsconstante	$mol^n\,L^{-n}$ ▸5,6	
K_p	(druk-) evenwichtsconstante	Pa^n ▸5,6	
K_z	zuurconstante		
K_b	baseconstante		
K_w	waterconstante		
K_d	dissociatieconstante		
K_s	oplosbaarheidsproduct		
K_{solv}	ionisatieconstante		
pH	waterstofexponent	– ▸7	$-\log [H_3O^+] \Leftrightarrow [H_3O^+] = 10^{-pH}$ $mol\,L^{-1}$
pOH		– ▸7	$-\log [OH^-] \Leftrightarrow [OH^-] = 10^{-pOH}$ $mol\,L^{-1}$
pZ of pK_z		– ▸7	$-\log K_z \Leftrightarrow K_z = 10^{-pZ}$
pB of pK_b		– ▸7	$-\log K_b \Leftrightarrow K_b = 10^{-pB}$
pI		– ▸7	iso-elektrisch punt
α	ionisatiegraad		geïoniseerde hoeveelheid elektrolyt, gedeeld door de oorspronkelijke hoeveelheid elektrolyt

vervolg ▸

A Symbolen en eenheden

symbool	*betekenis*	*eenheid*	*omschrijving*
H	enthalpie	J	
ΔH	enthalpieverandering	J	hoeveelheid warmte die door een systeem wordt opgenomen bij een proces dat bij constante druk plaatsvindt
ΔH^0	enthalpieverandering onder standaardomstandigheden	J	ΔH van een proces bij $T = 298$ K en $p = p_0$
$\Delta_f H^0$	vormingsenthalpie onder standaardomstandigheden	J mol^{-1}	ΔH bij de vorming van een mol stof uitgaande van de elementen: $T = 298$ K en $p = p_0$
G	gibbsenergie (vrije enthalpie)	J	
ΔG	verandering van de gibbsenergie	J	
$\Delta G^0(T)$	verandering van de gibbsenergie onder standaardomstandigheden	J	ΔG van een proces bij T en $p = p_0$
S	entropie	J K^{-1}	
S^0	absolute entropie onder standaardomstandigheden	$\text{J mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$	ΔS bij de verwarming van een mol stof van 0 K tot 298 K bij $p = p_0$
ΔS	entropieverandering	J K^{-1}	
ΔS^0	entropieverandering onder standaardomstandigheden	J K^{-1}	ΔS van een proces bij $T = 298$ K en $p = p_0$
e	elementair ladingsquantum	C	$1{,}602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ C
E	elektrodepotentiaal	V	
E^0	standaardelektrodepotentiaal	V	(tabel 48)
Λ^0	molaire iongeleidbaarheid in oneindig verdunde oplossing	$\Omega^{-1}\text{ m}^2\text{ mol}^{-1}$	geleidbaarheid van 1 mol ionen tussen elektroden op 1 m afstand
E	extinctie	–	
ε	molaire extinctiecoëfficiënt	$\text{L mol}^{-1}\text{ cm}^{-1}$	(tabel 39A)
I	intensiteit van het doorgelaten licht	W m^{-2}	
I_0	intensiteit van het opvallende licht	W m^{-2}	
e^-	elektron		
(aq)			opgelost in water
(s)			in vaste toestand
(l)			in vloeibare toestand
(g)			in gasvormige toestand

■ Grootheden en eenheden in het SI en Eenheden; zie tabellen 3, 4 en 5.

1 ▶ De relatieve atoommassa en de relatieve molecuulmassa zijn dimensieloze grootheden. De atoommassa en de molecuulmassa worden vaak opgegeven in u, waarbij 1 u = $\frac{1}{12}$ van de massa van het koolstofatoom ^{12}C. Dit is $1{,}660\,539\,066\,60 \cdot 10^{-27}$ kg.

2 ▶ De meest gebruikte eenheden van volume en van massa in de scheikunde zijn de liter en het gram; 1 L = 10^{-3} m^3 en 1 g = 10^{-3} kg.

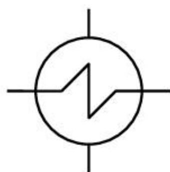
3 ▶ Vaak wordt gesproken van een '*a* molair' oplossing.

4 ▶ voor een reactie van de orde $(n + 1)$

5 ▶ n is de som van de exponenten in de drukbreuk, de concentratiebreuk of het ionenproduct.

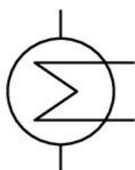
6 ▶ Bij de thermodynamische afleiding van evenwichtsvoorwaarden maakt men gebruik van relatieve grootheden. Evenwichtsconstanten krijgen dan geen eenheden.

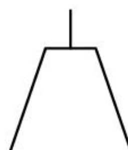
7 ▶ Het symbool p geeft hier aan dat – log genomen moet worden van de getalwaarde van de betrokken grootheid, waarbij die grootheid uitgedrukt wordt in de bijbehorende eenheden. Een p-waarde is daarom steeds dimensieloos.


warmtewisselaar (condensor)



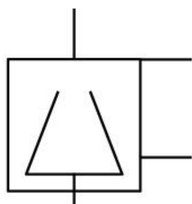
generator

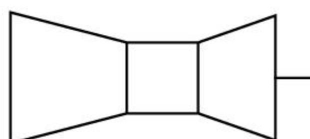

warmtewisselaar

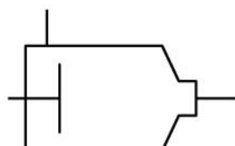

(stoom)turbine

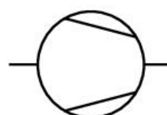

reactor

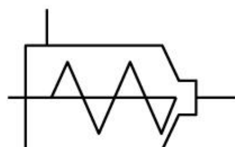

reactor met katalysator


centrifuge


gasturbine

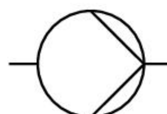

extruder (algemene notatie)

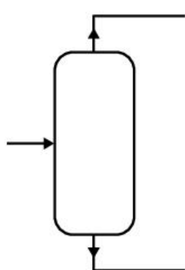

compressor

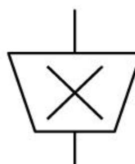

extruder (met schroef)


blower, ventilator


klep, afsluiter


vloeistofpomp

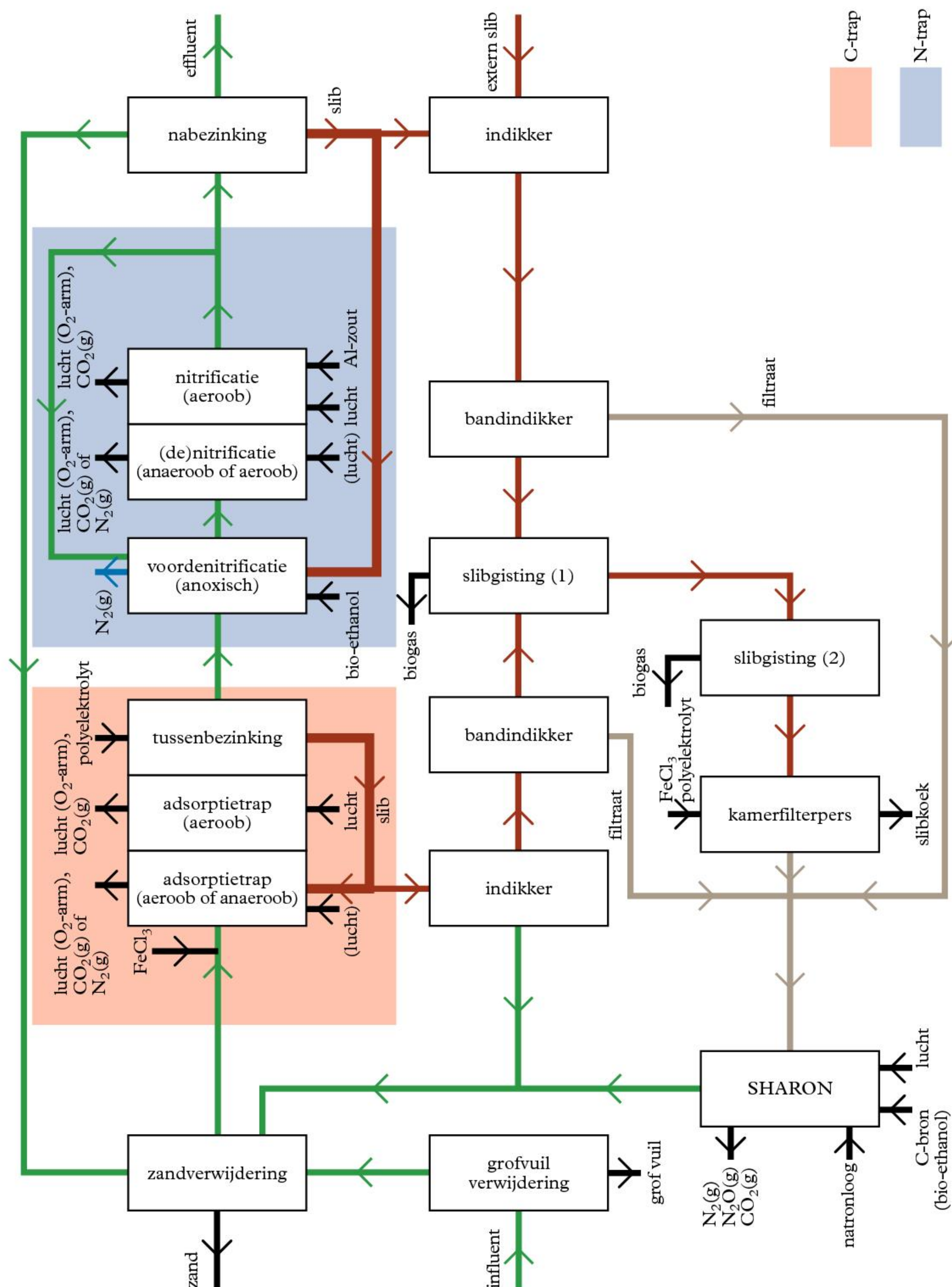

destileerkolom

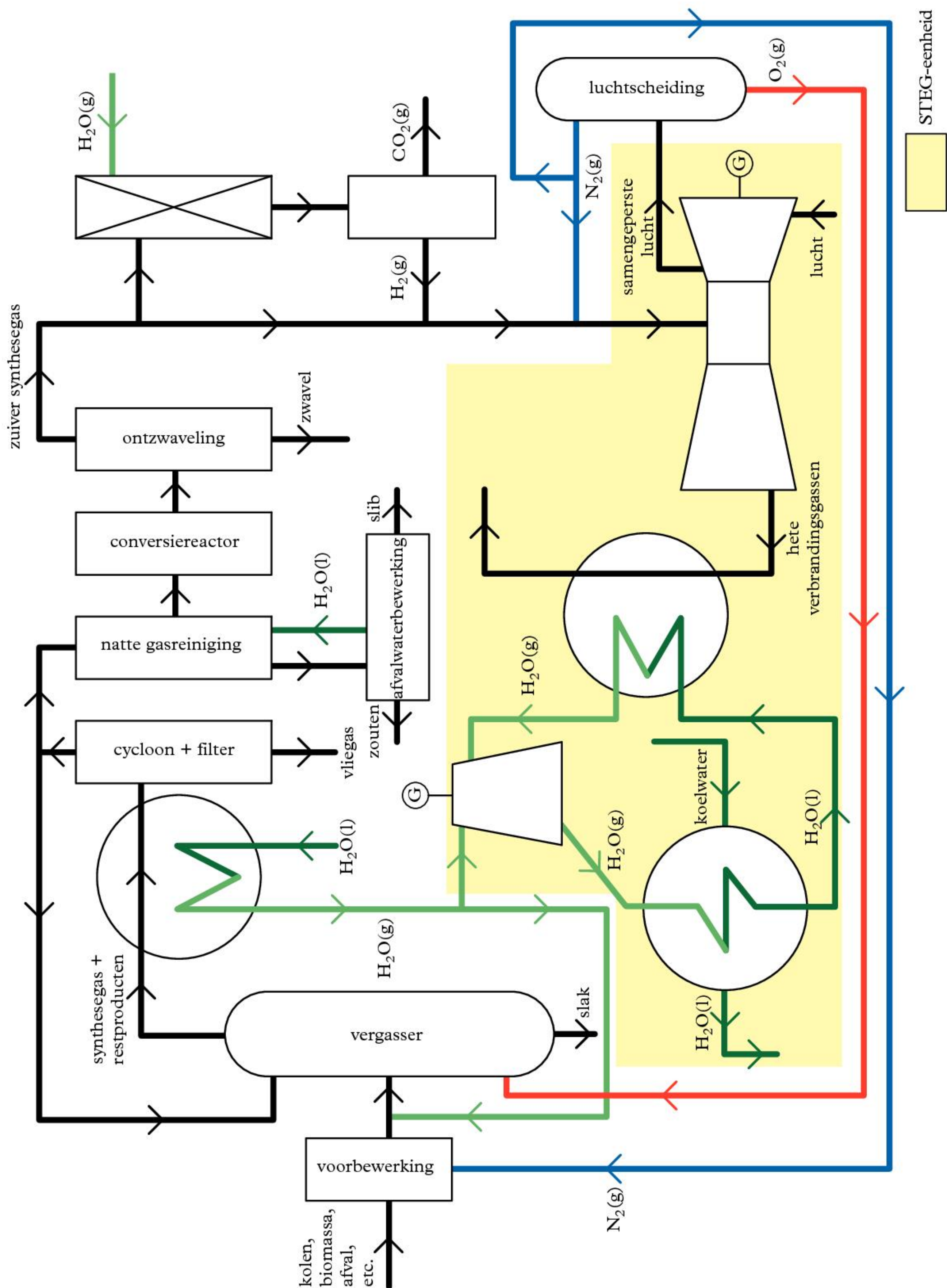

vermaler, verbrijzelaar

38 Scheikundige symbolen

B Industriële chemie

2 Stroomschema rioolwaterzuivering (Garmerwolde)




luchtscheiding
$O_2(g)$
STEG-eenheid
$H_2O(g)$
$CO_2(g)$
$N_2(g)$
G
samengeperste lucht
lucht
$H_2(g)$
zuiver synthesegas
ontzwaveling
zwavel
conversiereactor
slib
afvalwaterbewerking
$H_2O(l)$
natte gasreiniging
hete verbrandingsgassen
$H_2O(g)$
zouten
cycloon + filter
vliegas
G
koelwater
$H_2O(l)$
$H_2O(g)$
$H_2O(l)$
synthesegas + restproducten
$H_2O(g)$
vergasser
slak
$H_2O(l)$
voorbewerking
$N_2(g)$
kolen, biomassa, afval, etc.

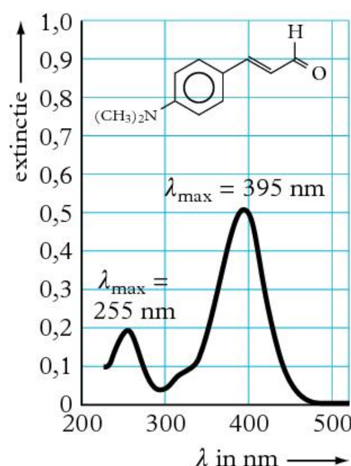
A UV-VIS-spectrometrie

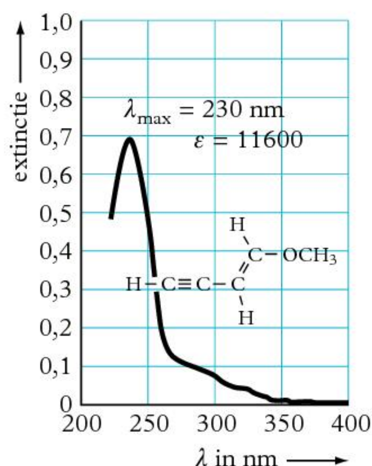
1 Absorptietoppen en extinctiecoëfficiënten

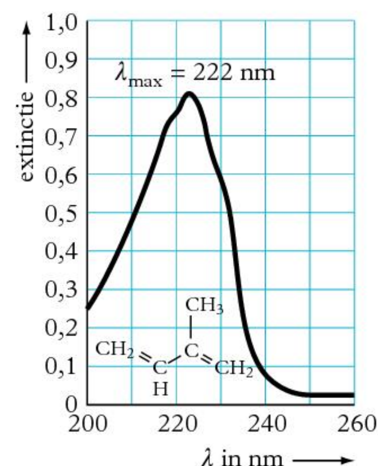
	absorptietop golflengte in nm	*molaire extinctiecoëfficiënt in* L mol^{-1} cm^{-1}
benzeen	256	200
tolueen [methylbenzeen]	261	300
nitrobenzeen	269	7800
naftaleen	312	289
fenolrood	550	46683
$Cr_2O_7^{2-}$	345	3150
CrO_4^{2-}	370	4790
NO_3^-	301	63
NO_2^-	354	29
$Co(H_2O)_6^{3+}$	394	1
$Co(H_2O)_6^{2+}$	510	6
$CoCl_4^{2-}$	600	150
$Fe(CN)_6^{3-}$	436	743
$FeSCN^{2+}$	480	25000
$Fe(Phen)_3^{2+}$	508	11100
MnO_4^-	525	2000
MnO_4^{2-}	603	1600
$CuCl_4^{2-}$	370	80
$Cu(NH_4)^{2+}$	580	20
$Cu(H_2O)_6^{2+}$	790	11

	absorptietop golflengte in nm	*molaire extinctiecoëfficiënt in* L mol^{-1} cm^{-1}
NAD^+, $NADP^+$	260	18000
NADH, NADPH	260	15000
	334	6000
	340	6220
	365	3400
	366	3300
vitamine A1	328	40600
β-caroteen	458	117000
bilirubine	436	56800
	453	60700
hemiglobine	500	9000
hemiglobinecyanide	540	44000
oxyhemoglobine	542	14400
hemoglobine	555	13000
sulfhemoglobine	620	11100
4-nitrofenol	405	18500
4-nitroaniline	405	9900

2 Absorptiespectra



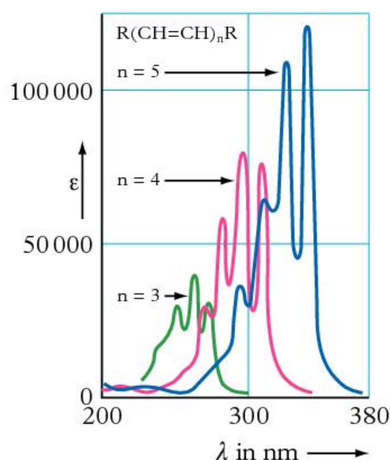




3 Soorten verschuivingen

terminologie voor absorptieverschuivingen

soort verschuiving	*naam van de verschuiving*
naar langere golflengte	bathochroom
naar kortere golflengte	hypsochroom
naar grotere extinctie	hyperchroom
naar lagere extinctie	hypochroom

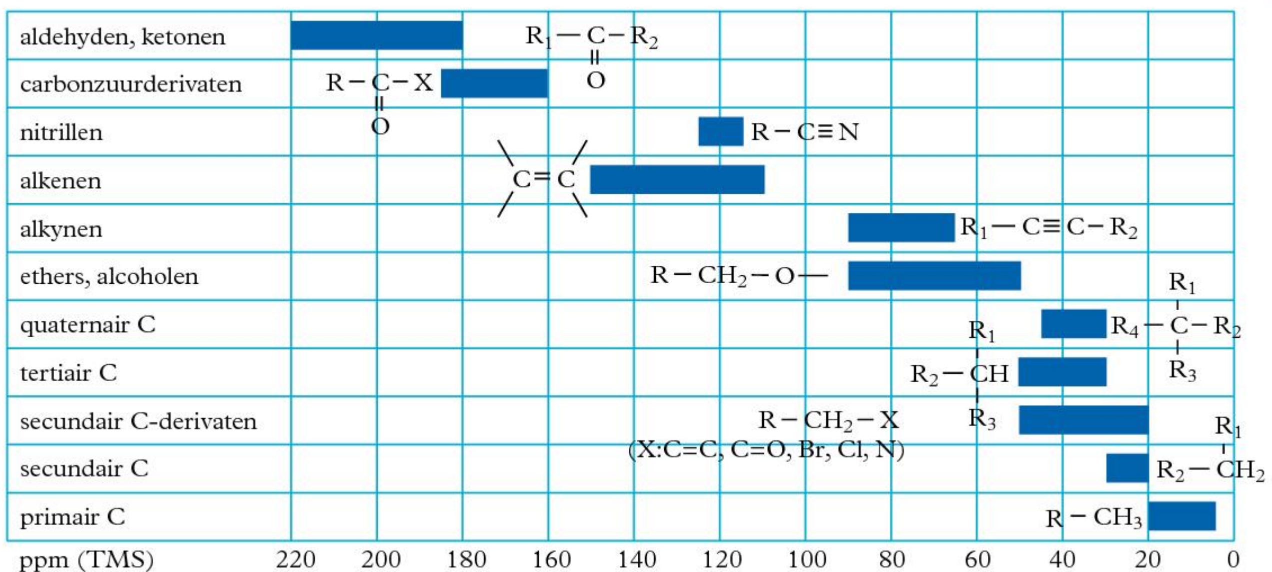


¹H 1

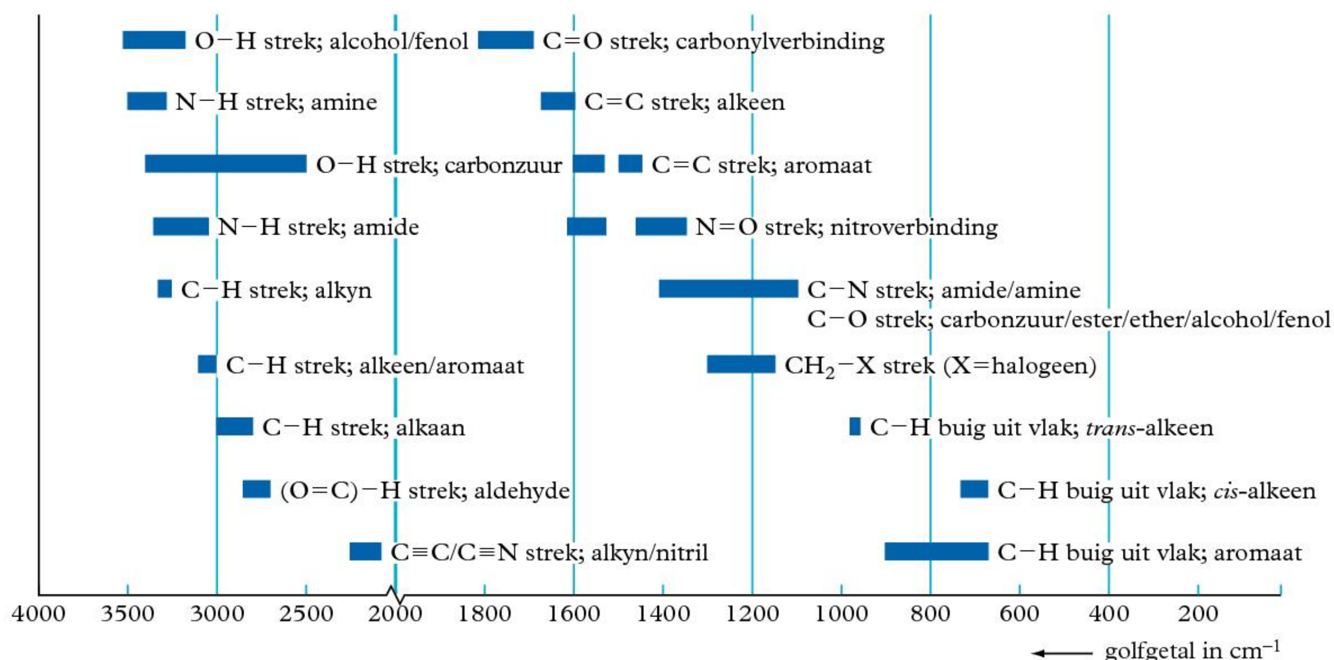
fenolen − OH — HO−⟨benzeenring⟩
alcoholen − OH — HO−C−
thioalcoholen − SH — HS−C−
aminen − NH_2, − NH − — −C−NH_2 ; H−N−C− ; −C−
carbonzuren − OH — HO−C(=O)
aldehyden — CH(=O)
heteroaromatisch — ⟨pyridine⟩−H ; H ⟨pyridine⟩ H
aromatisch — ⟨benzeenring⟩−H
alkenen — HC= ; =CH_2
alcoholen, ethers — HC−O− ; −O−CH_2 ; H_3C−O−
alkynen — −C≡CH
X − CH_3 — H_3C−N ; −S−CH_3
− CH_2 −, − CH_3 — H_3C−⟨benzeenring⟩ ; O=C−CH_2 ; H_2C ; O=C−CH_3 ; H_3C−C= ; X−C−CH_3
cyclopropyl — H, H ⟨cyclopropaan⟩
M − CH_3 — M−CH_3[M=Si, Li, Al, Ge...]

ppm (TMS) 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

¹³C 2



1 Groepsfrequenties (overzicht)



2 Groepsfrequenties

S = sterk, M = middel, Z = zwak

vibratie	*verbindingen*	*absorptiegebied* (cm^{-1})	*intensiteit*	*opmerkingen*
O–H strek	alcohol, fenol	3525-3200	breed, S	H-bruggen
	carbonzuur	3400-2500	breed, M-S	H-bruggen
N–H strek	primair amine	~3500, ~3400	Z-M	twee banden
	secundair amine	3500-3300	Z	een band
	amide	~3350, 3175-3150	M	twee banden
	N-gesubstitueerd amide	3325-3050	M	meer banden (KBr-tablet)
C–H strek	alkyn (sp-C)	3525-3250	S, scherp	
	alkeen (sp^2-C)	3100-3000	M-S	meer banden
	aromaat (sp^2-C)	3100-3000	M-S	meer banden
	alkaan (sp^3-C)	3000-2800	M-S	meer banden
	aldehyde (O=C)–H	2850-2820, 2750-2700	Z-M, scherp	twee banden
S–H strek	thiol	2600-2550	Z	
N=C=O	isocyanaat	2270-2000	breed, S	
C≡N strek	nitril	2260-2240 ▸1	scherp, M	
C≡C strek	alkyn	2260-2100 ▸1	Z	ontbreekt vaak bij symmetrische moleculen

vervolg ▸

vibratie	*verbindingen*	*absorptiegebied* (cm^{-1})	*intensiteit*	*opmerkingen*
C=O strek	zuuranhydride	~1815 [▶1], 1755 [▶1]	S	twee banden, de eerste het meest intens
	zuurchloride	~1800 [▶1]	S	
	ester	~1745 [▶1]	S	
	aldehyde	~1730 [▶1]	S	
	keton	~1715 [▶1]	S	
	carbonzuur	~1695 [▶1]	S	
C=N strek	hydrazon	1690-1640	M	
C=C strek	alkeen	1670-1600 [▶1]	Z-M	zwak of ontbrekend bij symmetrische moleculen/ vaak twee banden in elk gebied
	aromaat	1600-1575, 1500-1450	M	
N–H buig	amide	1655-1610	M	
	primair amine	1650-1560	breed, M-Z	
	N-gesubstitueerd amide	1575-1510	Z	
	secundair aromatisch amide	1515-1500	Z	
N=O strek	nitroverbinding	~1560 [▶1] - ~1375 [▶1]	S	twee banden, aromatisch 1300-1200
C–H buig	alkaan	1470-1370	Z-M	
S=O strek	sulfonzuur	1430-1310, 1225-1125	Z	twee banden
C–N strek	amide	~1410	M	
	alifatisch amine	1250-1010	Z-M	
	aromatisch amine	1370-1250	Z-M	
C–F strek	polyfluoralkaan	1350-1110	S	meer banden
	monofluoraromaat	~1225	S	
	monofluoralkaan	1100-1000	S	
C–O strek	carbonzuur	1320-1210	M	vetzuren twee banden
	ester	1290-1150, 1125-1000	S, M	methylester van vetzuur drie banden: 1250, 1200, 1180
	alkylarylether	1280-1200, 1080-1020	S	
	alcohol, fenol	1255-1000	S	fenol hoogste waarde; primair alcohol laagste waarde
	dialkylether	1150-1100	S	
CH_2–X strek	CH_2–Cl	1300-1200	S	
	CH_2–Br	1250-1175	S	
	CH_2–I	1200-1150	S	
C–H buig uit vlak	*trans*-alkeen	980-960	S	
	eindstandig =CH_2	900-880	S	
	aromaat	900-675	S	
	cis-alkeen	730-670	S	
N–H buig uit vlak	amine	910-660	breed	
	amide	800-670	S	

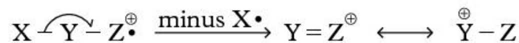
- De tabelwaarden gelden voor een dunne vloeistoflaag, voor een smelt en voor KBr-tabletten.
- Absorptiegebieden zijn gegeven in golfgetal $\frac{1}{\lambda}$ met eenheid cm^{-1}.
- Energieverschillen tussen vibratieniveaus zijn evenredig met het golfgetal: $\Delta E = hc\left(\frac{1}{\lambda}\right)$.

1 ▶ Pieken verschuiven naar lagere waarden naarmate de bindingen meer geconjugeerd zijn (C=C−C=C afwisselend).

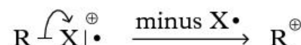
Het ionisatieproces: $M + e^- \rightarrow M^{\bullet\oplus} + 2\,e^-$
Ionisatievolgorde van elektronen: niet-bindende > meervoudige bindingen > enkele bindingen

1. Primaire afbraakregels voor molecuulionen

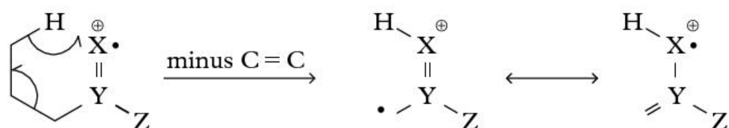
a. homolytische splitsing



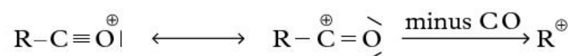
b. heterolytische splitsing
X = Cl, Br, I of een stabiel radicaal (R'O of R'S)



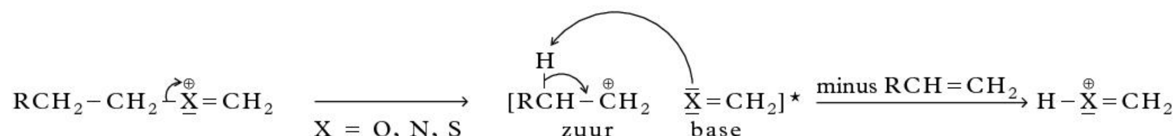
c. McLaffertyomlegging (XYZ = –CHO, –COR, –COOH, –COOR, –CONH$_2$, –CONR$_1$R$_2$, –NO$_2$, –CN, –C$_6$H$_5$)



2. Ontledingen van acyliumionen (ontstaan uit aldehyden, ketonen, zuren, esters)



3. Ontledingen van oxonium-, immonium-, etc. -ionen (ontstaan uit ethers, aminen, etc.)



karakteristieke neutrale fragmenten, afgesplitst van molecuulion M•$^\oplus$

M•$^\oplus$ minus	*afgesplitst*	*type verbinding/groep*
1	H	aldehyde (sommige ethers en aminen)
15	CH_3	methylsubstituent
18	H_2O	alcohol
28	C_2H_4, CO, N_2	C_2H_4 (McLafferty), CO (cyclisch keton)
29	CHO, C_2H_5	aldehyde, ethylsubstituent
34	H_2S	thiol
35, 36	Cl, HCl	chloorverbinding
43	CH_3CO, C_3H_7	methylketon, propylsubstituent
45	COOH	carbonzuur
60	CH_3COOH	acetaat

structuur van belangrijke fragmentionen

m/z	*structuur*	*type verbindingen*
29	$CHO^\oplus$	aldehyde
30	$CH_2NH_2^\oplus$	primair amine
43	$CH_3CO^\oplus$, $C_3H_7^\oplus$	methylketon
29, 43, 57, 71, …	$C_2H_5^\oplus$, $C_3H_7^\oplus$, …	onvertakte alkylgroep
39, 50, 51, 52, 65, 77, …	$C_3H_3^\oplus$, $C_4H_3^\oplus$, …	aromatische verbinding
60	$CH_3COOH^\oplus$	carbonzuur, acetaat, methylester
91	$C_6H_5CH_2^\oplus$	benzylische verbinding
105	$C_6H_5CO^\oplus$	benzoylverbinding

■ De *m/z* waarde van een molecuulion is even, tenzij het molecuulion een oneven aantal N-atomen bevat.
■ Fragmentionen met even *m/z* kunnen wijzen op McLafferty.
■ Aromaten zijn herkenbaar aan *m/z* pieken bij 119, 105, 103, 91, 79, 77, 65, 51, 39.

naam ▸1	symbool formule	atoomnummer	relatieve atoommassa ▸2	smeltpunt	kookpunt $p = p_0$	dichtheid $T = 298$ K $p = p_0$	elektronegativiteit ▸8	atoomstraal	vanderwaalsstraal	ionstraal en ionlading
				K	K	10^3 kg m^{-3}		10^{-12} m	10^{-12} m	10^{-12} m
actinium	Ac	89	(227)	1323	3471	10	1,1	188		112^{3+}
aluminium	Al	13	26,9815	933	2792	2,70	1,6	143		45^{3+}
americium	Am	95	(243)	1449	2284	12	1,1	173		98^{3+}; 85^{4+}
antimoon	Sb ▸4 (grijs)	51	121,760	904	1860	6,68	2,0	141	220	245^{3-}
argon	Ar	18	39,948	84 ▸7:69 kPa	87	$1{,}633 \cdot 10^{-3}$			192	
arseen	As ▸4 (grijs)	33	74,9216	1090 ▸7:3,6 MPa	889 ▸5	5,7	2,2	121	200	222^{3-}
astaat	At_2	85	(210)	575	610		2,2	140		62^{7+}
barium	Ba	56	137,327	1000	2170	3,62	0,9	217		134^{2+}
berkelium	Bk	97	(247)	1259	$2{,}9 \cdot 10^3$	13,25	1,3	172		96^{3+}; 83^{4+}
beryllium	Be	4	9,0122	1560	2744	1,85	1,6	112		30^{2+}
bismut	Bi	83	208,980	545	1837	9,79	2,0	170		120^{3+}; 76^{5+}
bohrium	Bh	107	(270)							
boor	B	5	10,811	2348	4273	2,34	2,0	88	217	16^{3+}
broom	Br_2	35	79,904	266	332	3,10	3,0	114	195	196^{1-}
cadmium	Cd	48	112,411	594	1040	8,69	1,7	149		97^{2+}
calcium	Ca	20	40,078	1115	1757	1,54	1,0	197		94^{2+}
californium	Cf	98	(251)	1173	$1{,}7 \cdot 10^3$	15,1	1,3	199		95^{3+}; 92^{4+}
cerium	Ce	58	140,116	1072	3716	6,77	1,1	183		101^{3+}; 87^{4+}
cesium	Cs	55	132,905	302	944	1,87	0,8	262		167^{1+}
chloor	Cl_2	17	35,453	172	239	$2{,}90 \cdot 10^{-3}$	3,2	99	180	181^{1-}
chroom	Cr	24	51,996	2180	2944	7,15	1,7	125		63^{3+}
copernicium	Cn	112	(285)							
curium	Cm	96	(247)	1618	$3{,}4 \cdot 10^3$	13,51	1,3	174		97^{3+}; 85^{4+}
darmstadtium	Ds	110	(281)							
dubnium	Db	105	(268)							
dysprosium	Dy	66	162,500	1685	2840	8,55	1,2	175		91^{2+}
einsteinium	Es	99	(252)	1133	$1{,}8 \cdot 10^3$	8,8	1,3	203		93^{3+}
erbium	Er	68	167,259	1802	3141	9,07	1,2	173		89^{3+}
europium	Eu	63	151,964	1099	1802	5,24	1,2	204		95^{3+}; 117^{2+}
fermium	Fm	100	(257)	1800			1,3			91^{3+}
flerovium	Fl	114	(289)							
fluor	F_2	9	18,9984	54	85	$1{,}553 \cdot 10^{-3}$	4,0	64 ▸3	135	133^{1-}
fosfor	P_4 (wit)	15	30,9738	317	554	1,82	2,2	110	190	212^{3-}
francium	Fr	87	(223)	300	950		0,7	270		180^{1+}

vervolg ▸

naam ▸1	symbool formule	atoom-nummer	relatieve atoommassa ▸2	smeltpunt	kookpunt $p = p_0$	dichtheid $T = 298$ K $p = p_0$	elektro-negativiteit ▸8	atoom-straal	vander-waals-straal	ionstraal en ionlading
				K	K	10^3 kg m^{-3}		10^{-12} m	10^{-12} m	10^{-12} m
gadolinium	Gd	64	157,25	1586	3546	7,90	1,2	179		94^{3+}
gallium	Ga	31	69,723	303	2477	5,91	1,8	141		62^{3+}
germanium	Ge	32	72,64	1211	3106	5,32	2,0	122	202	53^{4+}; 272^{4-}
goud	Au	79	196,967	1337	3129	19,3	2,5	144		137^{1+}; 85^{3+}
hafnium	Hf	72	178,49	2506	4876	13,3	1,3	157		76^{4+}
hassium	Hs	108	(269)							
helium	He	2	4,0026	1,5 ▸6	4,2	$1,64 \cdot 10^{-4}$			99	
holmium	Ho	67	164,930	1745	2973	8,80	1,2	174		90^{3+}
ijzer	Fe	26	55,845	1811	3134	7,87	1,8	126		76^{2+}; 64^{3+}
indium	In	49	114,818	430	2345	7,31	1,8	166		81^{3+}
iridium	Ir	77	192,217	2719	4701	22,6 ▸293K	2,2	135		63^{4+}; 68^{3+}
jood	I_2	53	126,9045	387	458	4,93	2,7	133	215	219^{1-}
kalium	K	19	39,098	337	1032	0,89	0,8	231		133^{1+}
kobalt	Co	27	58,9332	1768	3200	8,86	1,9	125		74^{2+}; 63^{3+}
koolstof	C (grafiet)	6	12,01115	3823	4098 ▸5	2,2	2,5	77	185	260^{4-}
koper	Cu	29	63,546	1358	2835	8,96	1,9	128		96^{1+}; 69^{2+}
krypton	Kr	36	83,798	116 ▸7:72,2 kPa	120	$3,43 \cdot 10^{-3}$			197	
kwik	Hg	80	200,59	234	630	13,5336	2,0	152		127^{1+}; 110^{2+}
lanthaan	La	57	138,906	1193	3737	6,15	1,1	188		115^{3+}
lawrencium	Lr	103	(262)	1900			1,3			88^{3+}
lithium	Li	3	6,941	454	1615	0,534	1,0	152		68^{1+}
livermorium	Lv	116	(293)							
lood	Pb	82	207,2	601	2022	11,3	2,3	175		120^{2+}; 84^{4+}
lutetium	Lu	71	174,967	1936	3675	9,84	1,3	172		86^{3+}
magnesium	Mg	12	24,305	923	1363	1,74	1,3	160		65^{2+}
mangaan	Mn	25	54,938	1519	2334	7,3	1,6	129		80^{2+}; 60^{4+}
meitnerium	Mt	109	(278)							
mendelevium	Md	101	(258)	1100						90^{3+}; 110^{2+}
molybdeen	Mo	42	95,94	2896	4912	10,2	2,1	136		68^{4+}
moscovium	Mc	115	(288)							
natrium	Na	11	22,9898	371	1156	0,97	0,9	186		98^{1+}
neodymium	Nd	60	144,242	1289	3347	7,01	1,1	181		98^{3+}
neon	Ne	10	20,180	25 ▸7:43 kPa	27	$8,25 \cdot 10^{-4}$			160	
neptunium	Np	93	(237)	917	$4,2 \cdot 10^3$	20,2	1,4	155		75^{5+}; 101^{3+}

vervolg ▶

nihonium	Nh	113	(286)							
nikkel	Ni	28	58,693	1728	3186	8,90	1,9	124		72^{2+}
niobium	Nb	41	92,906	2750	5017	8,57	1,6	141		64^{5+}; 72^{3+}
nobelium	No	102	(259)	1100			1,3			110^{2+}
oganesson	Og	118	(294)							
osmium	Os	76	190,23	3306	5285	22,6 ▸293K	2,2	134		63^{4+}; 39^{8+}
palladium	Pd	46	106,42	1828	3236	12,0	2,2	138		86^{2+}; 62^{4+}
platina	Pt	78	195,084	2041	4098	21,5	2,3	138		63^{4+}; 80^{2+}
plutonium	Pu	94	(244)	913	3501	19,7	1,3	159		86^{4+}; 100^{3+}
polonium	Po	84	(209)	527	1235	9,20	2,0	140		94^{4+}; 67^{6+}
praseodymium	Pr	59	140,908	1204	3793	6,77	1,1	182		93^{3+}; 96^{4+}
promethium	Pm	61	(145)	1315	3273	7,26	1,1	183		97^{3+}
protactinium	Pa	91	(231)	1845	$4{,}4 \cdot 10^{3}$	15,4	1,5	156		78^{5+}; 94^{4+}
radium	Ra	88	(226)	969	1413	5,5	0,9	220		148^{2+}
radon	Rn	86	(222)	202	211	$9{,}07 \cdot 10^{-3}$				
renium	Re	75	186,207	3458	5869	20,8	1,9	137		38^{7+}; 63^{4+}
rhodium	Rh	45	102,906	2237	3968	12,4	2,3	134		67^{3+}; 60^{4+}
roentgenium	Rg	111	(281)							
rubidium	Rb	37	85,468	312	961	1,53	0,8	244		148^{1+}
ruthenium	Ru	44	101,07	2606	4423	12,1	2,2	133		68^{3+}; 62^{4+}
rutherfordium	Rf	104	(267)							
samarium	Sm	62	150,36	1345	2067	7,52	1,2	180		96^{3+}; 127^{2+}
scandium	Sc	21	44,956	1814	3109	2,99	1,4	160		81^{3+}
seaborgium	Sg	106	(269)							
seleen	Se ▸4 (grijs)	34	78,96	494	958	4,81	2,5	117	200	202^{2-}
silicium	Si	14	28,086	1687	3538	2,33	1,9	117	224	42^{4+}; 271^{4-}
stikstof	N_2	7	14,0067	63	77	$1{,}145 \cdot 10^{-3}$	3,0	70	150	171^{3-}
strontium	Sr	38	87,62	1050	1655	2,64	1,0	215		110^{2+}
tantaal	Ta	73	180,948	3290	5731	16,4	1,5	143		64^{5+}; 72^{6+}
technetium	Tc	43	(98)	2430	4538	11,5	1,9	135		37^{7+}; 65^{4+}
telluur	Te ▸4	52	127,60	723	1261	6,232	2,1	137	220	222^{2-}
tennessine	Ts	117	(294)							
terbium	Tb	65	158,925	1632	3503	8,23	1,1	176		92^{3+}; 76^{4+}
thallium	Tl	81	204,383	577	1746	11,8	1,6	171		93^{3+}; 150^{1+}
thorium	Th	90	232,038	2023	5061	11,7	1,3	180		102^{4+}
thulium	Tm	69	168,934	1818	2223	9,32	1,2	172		88^{3+}
tin	Sn (wit)	50	118,710	505	2875	7,287	2,0	162		112^{2+}; 71^{4+}; 294^{4-}

vervolg ▸

naam ▶1	*symbool formule*	*atoom-nummer*	*relatieve atoommassa* ▶2	*smeltpunt*	*kookpunt* $p = p_0$	*dichtheid* $T = 298$ K $p = p_0$	*elektro-negativiteit* ▶8	*atoom-straal*	*vander-waals-straal*	*ionstraal en ionlading*
				K	K	10^3 kg m^{-3}		10^{-12} m	10^{-12} m	10^{-12} m
titaan	Ti	22	47,867	1941	3560	4,506	1,5	146		90^{2+}; 68^{4+}
ununennium	Uue ▶1	119								
uraan	U	92	238,029	1408	4404	19,1	1,4	138		73^{6+}; 103^{3+}
vanadium	V	23	50,942	2183	3680	6,0	1,6	131		88^{2+}
waterstof	H_2	1	1,00795	14	20,4	$8{,}2 \cdot 10^{-5}$	2,1	30 ▶3	120	154^{1-}
wolfraam	W	74	183,84	3695	5828	19,3	2,4	137		42^{6+}; 66^{4+}
xenon	Xe	54	131,293	161 ▶7:82 kPa	165	$5{,}37 \cdot 10^{-3}$			217	
ytterbium	Yb	70	173,04	1097	1469	6,90	1,1	194		87^{3+}
yttrium	Y	39	88,905	1795	3618	4,47	1,2	180		93^{3+}
zilver	Ag	47	107,868	1235	2435	10,5	1,9	144		126^{1+}
zink	Zn	30	65,38	693	1180	7,134	1,7	133		74^{2+}
zirkonium	Zr	40	91,224	2128	4682	6,52	1,3	157		80^{4+}
zuurstof	O_2	8	15,9994	54	90	$1{,}31 \cdot 10^{-3}$	3,5	66	140	146^{2-}
	O_3 (ozon)			80	162	$1{,}96 \cdot 10^{-3}$				
zwavel	S_8 (monoklien)	16	32,065	388	718	2,00	2,6	104	185	190^{2-}

■ Ionstraal van NH_4^+: $142 \cdot 10^{-12}$ m.

1 ▶ Nieuwe elementen (met atoomnummer groter dan 112) krijgen vooralsnog systematische namen afgeleid van de volgende numerieke voorvoegsels:

0	nil	2	bi	4	quad	6	hex	8	oct
1	un	3	tri	5	pent	7	sept	9	enn

Deze voorvoegsels worden vervolgens gecombineerd in de volgorde van het atoomnummer van het element en voorzien van de uitgang -ium.

De uitgang -n van enn wordt weggelaten indien hij voorafgaat aan nil.

De uitgang -i van bi en tri wordt weggelaten voorafgaand aan -ium.

In de naam van het element wordt elk numeriek voorvoegsel apart uitgesproken. Het symbool van de nieuwe elementen bestaat uit de drie beginletters van de numerieke voorvoegsels waaruit de naam is samengesteld.

2 ▶ De waarden zijn de gewogen gemiddelde relatieve atoommassa's van het natuurlijk voorkomend isotopenmengsel, behalve wanneer een waarde tussen ronde haken staat. Zo'n waarde is het massagetal van de isotoop met de langste halveringstijd; zie ook tabel 25 voor de afzonderlijke isotopen.

3 ▶ In H_2 is de atoomstraal $37 \cdot 10^{-12}$ m en in F_2 is deze $71 \cdot 10^{-12}$ m.

4 ▶ Bij het kookpunt bestaat arseendamp uit moleculen As_4, seleendamp uit moleculen Se_2 en grotere moleculen, antimoondamp uit moleculen Sb_2 en Sb_4 en telluurdamp uit moleculen Te_2.

5 ▶ sublimatiepunt

6 ▶ bij $2{,}6 \cdot 10^6$ Pa; smelttraject

7 ▶ tripelpunt bij … Pa

8 ▶ elektronegativiteit volgens Pauling

naam	*jaartal en ontdekker*	*herkomst van de naam*	*komt voor in … /bereiding*	*massa% in lithosfeer*
actinium	1899 Debierne; 1902 Giesel	gr. *aktinos* = stralen: radioactieve straling	uraanertsen	$5{,}5 \cdot 10^{-14}$
aluminium	1825 Oersted; 1827 Wöhler	la. *alumen* = bitter/aluin	bauxiet, veldspaten	8,3
americium	1944 Seaborg e.a, Chicago	naar Amerika (analoog aan iso-elektronisch Eu)	${}^{239}Pu\ (2n, \gamma)\ {}^{241}Pu \rightarrow {}^{241}Am$	
antimoon	oudheid	la. stibium, ar. al-uthmud = spiesglans	gedegen, antimoniet	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$
argon	1894 Ramsay/Rayleigh	gr. *argos* = inactief	lucht, bronwater	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$
arseen	1250 Albertus Magnus	gr. *arsenikon* = geel operment	operment, arsenopyriet	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$
astaat	1940 Corson/McKenzie/Segre	gr. *astatos* = onstabiel	U- en Th-ertsen	$3 \cdot 10^{-24}$
barium	1774 Scheele; 1808 Davy	gr. *barus* = zwaar	bariet/zwaarspaat	0,042
berkelium	1949 Thompson e.a., Berkeley	naar Berkeley, Californië	${}^{241}Am\ (\alpha, 2n)\ {}^{243}Bk$	
beryllium	1798 Vauquelin;1828 Wöhler, Bussy	gr. *berullos* = zeegroen (vgl. bril)	beril (smaragd/aquamarijn)	$2{,}8 \cdot 10^{-4}$
bismut	oudheid; 1739 Pott/Bergman	du. *Wismut* = weisse Masse = witte massa	gedegen, bismutiet	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$
bohrium	1976 Flerov e. a., Dubna	naar Niels Bohr	${}^{209}Bi\ ({}^{54}Cr, n)\ {}^{262}Bh$	
boor	oudheid; 1807 Davy; 1892 Moissan	en. *boron* = samentrekking *bor*ax en carb*on*	borax	$1{,}0 \cdot 10^{-3}$
broom	1825 Balard/Löwig	gr. *bromos* = stank	zeewater, zoutlagen	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$
cadmium	1817 Stromeyer	naar Kadmeia, streek in stroomgebied Nijl	zinkmineralen o.a. cadmia/galmei	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$
calcium	1755 Black; 1808 Davy	la. *calx* = kalk	kalksteen (diverse vormen), schelpen	4,2
californium	1950 Thompson e.a., Berkeley	naar Californië	${}^{242}Cm(\alpha, n)\ {}^{245}Cf$	
cerium	1803 Klaproth; Berzelius/Hisinger; 1825 Mosander	naar planetoïde Ceres: ontdekt in 1801	cerietaarden o.a. monaziet	$6{,}0 \cdot 10^{-3}$
cesium	1861 Bunsen/Kirchhoff; 1882 Setterberg	la. *caesius* = hemelsblauw: spectraallijn	polluciet (een silicaat), mineraalwater	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$
chloor	1774 Scheele; 1807 Davy	gr. *chloros* = geelgroen	zeewater, sylvien, (steen)zout	0,013
chroom	1798 Vauquelin	gr. *chroma* = kleur	chromiet, chroomoker, roodlooderts	0,010
copernicium	1996 Hofmann e.a. Darmstadt	naar Nicolaas Copernicus	${}^{208}Pb\ ({}^{70}Zn,n)\ {}^{277}Cn$	
curium	1944 Seaborg e.a., Chicago	naar Marie en Pierre Curie	${}^{239}Pu\ (\alpha, n)\ {}^{242}Cm$	
darmstadtium	1944 Armbruster e.a. Darmstadt	naar Darmstadt, Duitsland	${}^{208}Pb\ ({}^{62}Ni,n)\ {}^{269}Ds$	
dubnium	1967 Flerov e.a. Dubna; 1970 Ghiorso e.a., Berkeley	naar Dubna, Rusland	${}^{243}Am\ ({}^{22}Ne, 4n)\ {}^{261}Db$/ ${}^{249}Cf\ ({}^{15}N, 4n)\ {}^{260}Db$	
dysprosium	1886 Boisbaudran	gr. *dusprositos* = moeilijk te verkrijgen	monazietaarde	$3{,}0 \cdot 10^{-4}$
einsteinium	1952 Ghiorso e.a., Berkeley	naar Albert Einstein	${}^{238}U\ (15n, \gamma)\ {}^{253}U \rightarrow {}^{253}Es$	
erbium	1842 Mosander; 1934 Klemen/Bommer	naar Ytterby, Zweden	monazietaarde	$2{,}8 \cdot 10^{-4}$
europium	1896 Demarçay; 1897 Boisbaudran	myth. Europa en Zeus: Eu in spectrum van ruw Sm	monazietaarde	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$
fermium	1952 Ghiorso e.a., Berkeley	naar Enrico Fermi	${}^{238}U\ (17n, \gamma)\ {}^{255}U \rightarrow {}^{255}Fm$	
flerovium	1999 team Flerov laboratoria, Dubna	naar Georgy Flyorov	${}^{244}Pu\ ({}^{48}Ca,3n)\ {}^{289}Fl$	

vervolg ▶

naam	*jaartal en ontdekker*	*herkomst van de naam*	*komt voor in … /bereiding*	*massa% in lithosfeer*
fluor	1771 Scheele; 1886 Moissan	la. *fluere* = vloeien	been, zeewater, vloeispaat	0,063
fosfor	1669 Brand; 1690 Boyle	gr. *fosforus* = lichtdragend	fosforiet, apatieten, beenderen	0,10
francium	1939 Marguerite Perey	naar la. *Francia* = Frankrijk	vervalproduct Ac	$3 \cdot 10^{-21}$
gadolinium	1880 de Marignac; Boisbaudran	naar Johan Gadolin	monazietaarde, gadoliniet	$5{,}4 \cdot 10^{-4}$
gallium	1875 Boisbaudran	naar la. *Gallia* = Frankrijk	steenkoolsoorten, galliet, aardolie	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$
germanium	1886 Winkler	naar la. *Germania* = Duitsland	vliegstof Zn-bereiding, germaniet	$5{,}4 \cdot 10^{-4}$
goud	oudheid	la. *aurum* = goud; os. Gold = geel	gedegen in alliage met Ag, Cu, Fe	$4 \cdot 10^{-7}$
hafnium	1923 Coster/von Hevesy/Jantzen	naar la. *Hafnia* = Kopenhagen	zirkoonertsen, hafnon	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$
hassium	1984 Armbruster e.a., Darmstadt	naar la. *Hassium* = Hessen, Duitsland	$^{208}Bi\ (^{58}Fe, n)\ ^{265}Hs$	
helium	1868 Lockyer/Janssen; 1895 Ramsay/Travers	gr. *helios* = zon	lucht, aardgasvelden	$8 \cdot 10^{-7}$
holmium	1878 Delafontaine/Soret; 1879 Cleve	naar la. *Holmia* = Stockholm	monazietaarde	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$
ijzer	oudheid	kt. *isarno* = kracht; la. *ferrum*	ijzerertsen	5,6
indium	1863 Reich/Richter; 1867 Winkler	indigo: spectraallijn	zinkblende, indiet, aardolie	$1{,}0 \cdot 10^{-5}$
iridium	1804 Tennant	gr. *iris* = regenboog	iridosmium, osmiridium	$1 \cdot 10^{-7}$
jood	1811 Courtois	gr. *ioeides* = violet/vioolkleurig	zeewater, planten, jodyriet	$5{,}0 \cdot 10^{-5}$
kalium	1736 Duhamel du Monceau; 1807 Davy; Gay Lussac/Thenard	ar. *kali* = K_2CO_3, *alkali* = de as	veldspaat, silicaten, slakken	2,1
kobalt	1735 Brandt	Kobold = berggeest	kobaltertsen, mangaanknollen	$2{,}5 \cdot 10^{-3}$
koolstof	oudheid	la. *carbonium* = steenkool	diamant, grafiet, organische verbindingen	0,020
koper	oudheid	naar gr. *Kupros* = Cyprus	gedegen, koperertsen	$5{,}5 \cdot 10^{-3}$
krypton	1898 Ramsay/Travers	gr. *kruptos* = verborgen	lucht	$1 \cdot 10^{-8}$
kwik	oudheid	en. *quick silver* = gr. *hudrargurum* = watervlug zilver	gedegen, kwikertsen	$8{,}0 \cdot 10^{-6}$
lanthaan	1839 Mosander	gr. *lanthanon* = verborgen	monazietaarde, lanthaniet	$3{,}0 \cdot 10^{-3}$
lawrencium	1959 Ghiorso e.a., Berkeley	naar Ernest O. Lawrence	$^{250}Cf\ (^{10}B, 2n)\ ^{258}Lr$	
lithium	1817 Arfvedson; 1818 Brandé/Davy	gr. *lithos* = steen	minerale wateren, as van tabak	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$
livermorium	2000 team van het JINR, Dubna	naar Lawrence Livermore, National laboratory Californië	$^{248}Cm(^{48}Ca, 3n)\ ^{293}Lv$	
lood	oudheid	kt. *loud* = roodachtig; la. *plumbum*	loodertsen, menie	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$
lutetium	1907 Urbain/Auer von Welsbach/James	naar la. *Lutetia* = Parijs	monazietaarde	$5{,}0 \cdot 10^{-5}$
magnesium	oudheid; 1755 Black; 1808 Davy	naar Magnesia, Thessalië	zeewater, planten, bitteraarde	2,3
mangaan	1740 Pott; 1774 Scheele/Bergman/Gahn	gr. *magnes* = magneet	mangaanertsen	0,095
meitnerium	1982 Armbruster e.a., Darmstadt	naar Lise Meitner	$^{209}Bi\ (^{58}Fe, n)\ ^{266}Mt$	
mendelevium	1955 Ghiorso e.a., Berkeley	naar Dmitri Ivanovitsj Mendelejev	$^{253}Es\ (\alpha, n)\ ^{256}Md$	
molybdeen	1778 Scheele; 1781 Hjelm	gr. *molubdaina* = op lood gelijkend erts	molybdeenglans, wulfeniet	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$

vervolg

moscovium	2004 Joint Institute for Nuclear Research in Dubna (reg. Moskou, Rusland), Berkeley National Laboratory en Oak Ridge National Laboratory	naar de regio Moskou in Rusland	fusie van americium-243 en calcium-48	
natrium	oudheid; 1807 Davy	ar. *natron* = (element in) soda	zeewater, steenzout, albiet	2,4
neodymium	1841 Mosander; 1885 Auer von Welsbach	gr. *neos didumos* = nieuwe tweeling	monazietaarde	$2{,}8 \cdot 10^{-3}$
neon	1898 Ramsay/Travers	gr. *neos* = nieuw	lucht	$5 \cdot 10^{-7}$
neptunium	1940 McMillan/Abelson	naar de planeet Neptunus	$^{238}U\ (n, \gamma)\ ^{239}U \rightarrow\ ^{239}Np$	
nihonium	2004 RIKEN-instituut (Japan)	naar Japan = Nihon	fusie van zinkkernen met bismuthkernen	
nikkel	oudheid; 1751 Cronstedt; 1775 Bergman	du. *Nickel* = berggeest	nikkelertsen, nikkelien, Mn-knollen	$7{,}5 \cdot 10^{-3}$
niobium	1801 Hatchett; 1866 Blomstrand	naar Niobe, dochter van Tantalus	columbiet, tantalieten	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$
nobelium	1958 Ghiorso e.a., Berkeley	naar Alfred Nobel	$^{246}Cm\ (^{12}C, 4n)\ ^{254}No$	
oganesson	2006 Joint Institute for Nuclear Research, Lawrence Livermore National Laboratory	naar prof. Youri Oganessian	uit californium-249 en calcium-48	
osmium	1804 Tennant	gr. *osme* = reuk/stank	gedegen, in erts van Pt-metalen en Au	$1{,}5 \cdot 10^{-7}$
palladium	1803 Wollaston	naar de planetoïde Pallas, ontdekt in 1802	gedegen, nikkelertsen	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$
platina	1735 de Ulloa; 1750 Watson; 1803 Wollaston	sp. *plata* = zilver, geld, rijkdom	gedegen, nikkelertsen	$5 \cdot 10^{-7}$
plutonium	1940 Seaborg e.a., Berkeley	naar de planeet Pluto	$^{238}U\ (^{2}H, 2n)\ ^{238}Np \rightarrow\ ^{238}Pu$	
polonium	1898 Marie Curie-Sklodowska	naar la. *Polonia* = Polen	uraanertsen, pekblende	$2 \cdot 10^{-14}$
praseodymium	1885 Auer von Welsbach	gr. *praseodidumos* = groene tweeling	monazietaarde	$8{,}2 \cdot 10^{-4}$
promethium	1942 Wu/Segrè/Bethe	naar de titaan Prometheus	uraanertsen	
protactinium	1913 Fajans/Gahring; 1917 Russell; Hahn/Lise Meitner	gr. *proton actinium* = stamvader van actinium	uraanertsen	$1{,}4 \cdot 10^{-10}$
radium	1898 Becquerel/Marie en Pierre Curie	la. *radius* = straal	uraanertsen	$9 \cdot 10^{-11}$
radon	1900 Dorn; 1902 Rutherford/Soddy; 1910 Ramsay	gr. *rados* = straal	uraanertsen	$4 \cdot 10^{-17}$
renium	1925 Walther en Ida Noddack/Berg	naar la. *Rhenus* = Rijn	platinaertsen	$5 \cdot 10^{-7}$
rhodium	1803 Wollaston	gr. *rhodoeis* = rooskleurig	Pt- en Ni-ertsen	$1 \cdot 10^{-7}$
roentgenium	1994 Hofmann, Darmstadt	naar Wilhelm Röntgen	$^{209}Bi(^{64}Ni, n)\ ^{272}Rg$	
rubidium	1860 Bunsen/Kirchhoff	la. *rubidus* = donkerrood: spectraallijn (vgl. robijn)	zeewater, lithiumertsen, polluciet	$9{,}0 \cdot 10^{-3}$
ruthenium	1828 Osann; 1844 Klaus	naar la. *Ruthenia* = Rusland	gedegen met Pt, Pt-ertsen	$1 \cdot 10^{-7}$
rutherfordium	1964 Flerov e.a.; 1969 Ghiorso e.a., Berkeley	naar Ernest Rutherford	$^{242}Pu\ (^{22}Ne, 4n)\ ^{260}Rf/^{249}Cf\ (^{12}C, 4n)\ ^{257}Rf$	
samarium	1879 Boisbaudran; 1901 Demarçay	naar Samarski	monazietaarde, samarskiet	$6{,}0 \cdot 10^{-4}$
scandium	1879 Nilson; 1881 Cleve	naar la. *Scandia* = Scandinavië	monazietaarde	$2{,}2 \cdot 10^{-3}$
seaborgium	1974 Ghiorso e.a., Berkeley; Flerov e.a., Dubna	naar Glenn T. Seaborg	$^{249}Cf\ (^{18}O, 4n)\ ^{263}Sg/^{206}Pb\ (^{54}Cr)\ ^{260}Sg$	
seleen	1817 Berzelius/Gahn	gr. *Selene* = maan	pyriet, berzelianiet	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$

vervolg

naam	*jaartal en ontdekker*	*herkomst van de naam*	*komt voor in … /bereiding*	*massa% in lithosfeer*
silicium	oudheid; 1823 Berzelius; 1854 Sainte ClaireDeville	la. *silex* = kiezel/vuursteen	zand, kwarts, kiezel	28
stikstof	1772 Rutherford; 1850 Lavoisier e.a.	la. *nitrogenium* = salpetervormer; 'stik'stof	lucht, salpeter, eiwitten	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$
strontium	1790 Crawford; 1793 Klaproth; 1808 Davy	naar Strontian, Schotland	strontianiet, coelestien	0,037
tantaal	1802 Ekeberg; 1866 de Marignac	naar Tantalus: zoutvorming bleek 'kwelling'	in ertsen samen met Nb	$2{,}0 \cdot 10^{-4}$
technetium	1937 Perrier/Segrè	gr. *technetos* = kunstmatig	splijtingsproduct van U, S-sterren	
telluur	1782 Müller v. Reichenstein; 1798 Klaproth	naar Tellus, godin van de aarde	als element, pyriet, telluriet	$1 \cdot 10^{-7}$
tennessine	2010 Joint Institute for Nuclear Research in Dubna, Berkeley National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory (regio Tennessee)	naar de regio Tennessee	uit berkelium-249 en calcium-48	
terbium	1843 Mosander	naar Ytterby, Zweden	monazietaarde	$9{,}0 \cdot 10^{-5}$
thallium	1861 Crookes/Lang; 1862 Lamy	gr. *thallos* = spectraallijn	vliegas bij roosten van ZnS en PbS	$4{,}5 \cdot 10^{-5}$
thorium	1828 Berzelius	naar Thor, Scandinavische god van de oorlog	uraanertsen, thorianiet, thoriet	$9{,}6 \cdot 10^{-4}$
thulium	1879 Cleve	naar la. *Thule* = Noorderland, Scandinavië	monazietaarde	$4{,}8 \cdot 10^{-5}$
tin	oudheid	od. *Zin* = staafje; la. *stannum* = Ag/Pb-alliage	stanniet en andere ertsen	$2{,}0 \cdot 10^{-4}$
titaan	1791 Gregory; 1795 Klaproth; 1825 Berzelius	naar de Titanen	silicaten, titaniet	0,57
uraan	1789 Klaproth; 1841 Péligot	naar de planeet Uranus, ontdekt in 1781	uraanertsen, pekblende	$2{,}7 \cdot 10^{-4}$
vanadium	1801 del Rio; 1831 Sefström	naar Vanadis: godin van schoonheid	vanadiniet	0,014
waterstof	1766 Cavendish; 1789 Paets v. Troostwijk	la. *hydrogenium* = watervormer	water, organische verbindingen	0,14
wolfraam	1779 Woulfe; 1781 Scheele/Bergman	Wolf Rahm = wolfschuim; *tungsten* = zware steen	wolfraamertsen	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$
xenon	1898 Ramsay/Travers	gr. *xenos* = gast	lucht	$3 \cdot 10^{-9}$
ytterbium	1878 de Marignac/Auer von Welsbach	naar Ytterby, Zweden	monazietaarde	$3{,}0 \cdot 10^{-4}$
yttrium	1843 Mosander; 1935 West/Hopkins	naar Ytterby, Zweden	monazietaarde, yttriumspaat	$3{,}3 \cdot 10^{-3}$
zilver	oudheid	la. *argentum* = helder wit = od. *silbar*	gedegen, zilverertsen	$7{,}0 \cdot 10^{-6}$
zink	13e eeuw, China; 1746 Marggraf	od. *Zinke* = scherpe punt: kristalvorm	zinkblende, galmei	$7{,}0 \cdot 10^{-3}$
zirkonium	1789 Klaproth; 1824 Berzelius	ar. *zargun* = goudkleurig	zirkoon, zirkoonaarde	0,017
zuurstof	1598 Drebbel; 1774 Priestley; Scheele	la. *oxygenium* = zuurvormer	lucht (ook ozon), silicaten , carbonaten	46
zwavel	oudheid	la. *sulfur* ss. *shulbari* os. *sweval* = koper'vijand'	vulkaanafzettingen, zoutkoepels, gips	0,026

■ Gebruikte afkortingen

od	oud-Duits	la	Latijn	en	Engels	os	Saksisch	zw	Zweeds	ss	Sanskriet
ar	Arabisch	gr	Grieks	sp	Spaans	du	Duits	fr	Frans	kt	Keltisch

molaire geleidbaarheid in 10^{-3} Ω^{-1} m^2 mol^{-1} bij $T = 298$ K; in waterige oplossing

H^+	34,965	OH^-	19,8
Li^+	3,866	F^-	5,54
Na^+	5,008	Cl^-	7,631
K^+	7,348	Br^-	7,81
NH_4^+	7,35	I^-	7,68
Ag^+	6,19	NO_3^-	7,142
$\frac{1}{2}Mg^{2+}$	5,30	CH_3COO^-	4,09
$\frac{1}{2}Ca^{2+}$	5,947	ClO_4^-	6,73
$\frac{1}{2}Sr^{2+}$	5,94	$\frac{1}{2}SO_4^{2-}$	8,00
$\frac{1}{2}Ba^{2+}$	6,36		
$\frac{1}{2}Pb^{2+}$	7,1		

A Anorganische verbindingen

temperatuur in K bij $p = p_0$

	smeltpunt	*kookpunt*
AgBr	703	1775
Ag_2CO_3	491 ▸[2]	
AgCl	728	1820
AgI	831	1779
$AgNO_3$	483	713 ▸[2]
Ag_2O	473 ▸[2]	
$AlBr_3$	371	528
$AlCl_3$	466	
AlF_3		1549 ▸[1]
Al_2O_3	2327	3250
$Al_2(SO_4)_3$	1313 ▸[2]	
$BaCO_3$	1653 ▸[2]	
$BaCl_2$	1234	1833
$Ba(NO_3)_2$	863 ▸[2]	
BaO	2246	
$BaSO_4$	1853	
CO	68	82
CO_2		195 ▸[1]
$COCl_2$	145	281
CS_2	161	319
$CaCO_3$	973-1173 ▸[2]	
CaC_2	2573	
$CaCl_2$	1048	2208
CaF_2	1691	2773
CaO	2886	
$Ca(OH)_2$	853 ▸[2]	
CaS	2797	
$CaSO_4$	1733	
Cl_2O	153	275 ▸[3]
$CoCl_2$	1010	1322
$CrCl_3$	1425	1573 ▸[2]
Cr_2O_3	2593	3273
$CuBr_2$	771	1173
$CuCl_2$	871	1266 ▸[2]
CuO	1500	
Cu_2O	1517	2073 ▸[2]
$Cu(OH)_2$	▸[2]	
CuS	780	
$CuSO_4$	833 ▸[2]	
$FeCO_3$	▸[2]	
$FeCl_2$	950	1296
$FeCl_3$	581	589
FeO	1650	
Fe_2O_3	1812	
$Fe(OH)_2$	▸[2]	

	smeltpunt	*kookpunt*
FeS	1461	▸[2]
HBr	186	207
HCN	260	299
HCl	159	188
HF	190	293
HI	222	238
HNO_3	232	356
H_2O	273	373
H_2O_2	273	423
H_3PO_4	316	680
H_2S	188	214
H_2SO_4	283	610
$HgCl_2$	550	577
HgO	773 ▸[2]	
KBr	1007	1708
$KBrO_3$	707 ▸[2]	
KCN	895	
K_2CO_3	1172	▸[2]
KCl	1044	
$KClO_3$	630	▸[2]
K_2CrO_4	1247	
$K_2Cr_2O_7$	671	773 ▸[2]
KF	1131	1775
$KHCO_3$	373 ▸[2]	
$KHSO_4$	473	▸[2]
KI	954	1596
KIO_3	833 ▸[2]	
$KMnO_4$	▸[2]	
KNO_2	711	810 ▸[3]
KNO_3	607	673 ▸[2]
K_2O	1013	
KOH	679	1600
KSCN	446	773 ▸[2]
K_2S	1221	
K_2SO_4	1342	
$MgBr_2$	984	
$MgCO_3$	1263 ▸[2]	
$MgCl_2$	987	1685
MgO	3098	3873
$Mg(OH)_2$	1263 ▸[2]	
MgS	2499	
$MgSO_4$	1410	
$MnCO_3$	>473 ▸[2]	
$MnSO_4$	973	1123 ▸[2]
MnS	1883	

vervolg ▸

	smeltpunt	kookpunt
NH_3	195	240
NH_4Br		669 ►1
NH_4Cl		611 ►1
NH_4NO_3	443	►3
$(NH_4)_2SO_4$	553 ►2	
NO	110	121
NO_2	264	294
N_2O	182	185
N_2O_4	264	294
$NaBr$	1020	1663
Na_2CO_3	1129	►2
$NaCl$	1074	1738
NaF	1269	1977
$NaHCO_3$	323 ►2	
NaI	934	1577
$NaNO_2$	557	593 ►2
$NaNO_3$	580	
NaN_3	573 ►2	
Na_2O	1407	
$NaOH$	596	1661
Na_3PO_4	1856	
Na_2S	1445	
Na_2SO_4	1157	
PCl_3	180	349
PCl_5		433 ►1
PH_3	139	185
P_2O_3	297	446

	smeltpunt	kookpunt
P_2O_5	835	878
$PbCO_3$	588 ►2	
$PbCl_2$	774	1224
$PbCrO_4$	1117	
$Pb(NO_3)_2$	743	
PbI_2	683	1145 ►2
PbO	1160	
PbO_2	563 ►2	
Pb_3O_4	1103 ►2	
$PbSO_4$	1360	
SO_2	198	263
SO_3	335	
$SOCl_2$	172	349
SiC	3103	
SiH_4	88	161
SiO_2	846-1995	3223
$SnCl_2$	520	896
$SnCl_4$	239	387
SnO	1353 ►2	
SnO_2	1903	
SnS	1154	1483
SnS_2	873 ►2	
$ZnBr_2$	675	943
$ZnCO_3$	413 ►2	
$ZnCl_2$	563	1005
ZnO	2247	
$ZnSO_4$	953 ►2	

1 ► sublimatiepunt
2 ► ontleedt
3 ► explodeert

temperatuur in K bij $p = p_0$

	smeltpunt	*kookpunt*
• *alkanen*		
methaan	91	112
ethaan	90	185
propaan	86	231
butaan (*n*-butaan)	135	273
2-methylpropaan (isobutaan)	114	261
pentaan (*n*-pentaan)	143	309
2-methylbutaan	113	301
2,2-dimethylpropaan	257	283
hexaan (*n*-hexaan)	178	342
2-methylpentaan	120	333
3-methylpentaan	110	336
2,2-dimethylbutaan	174	323
2,3-dimethylbutaan	145	331
heptaan (*n*-heptaan)	183	372
• *cycloalkanen*		
cyclopropaan	146	240
cyclobutaan	182	286
cyclopentaan	180	322
cyclohexaan	280	354
• *alkenen*		
etheen	104	169
propeen	88	225
but-1-een	88	267
cis-but-2-een	134	277
trans-but-2-een	168	274
cis-1,2-dichlooretheen	193	333
trans-1,2-dichlooretheen	223	322
pent-1-een	108	303
hex-1-een	133	337
• *alkynen*		
ethyn (acetyleen)		188 ►1
propyn	170	250
but-1-yn	147	281
but-2-yn	241	300
pent-1-yn	183	313
hex-1-yn	141	344
• *aromatische koolwaterstoffen*		
benzeen	279	353
tolueen [methylbenzeen]	178	384
ethylbenzeen	178	409
1,2-dimethylbenzeen	248	418
1,3-dimethylbenzeen	225	412
1,4-dimethylbenzeen	286	411

	smeltpunt	*kookpunt*
• *alcoholen en fenolen*		
methanol	176	338
ethanol (alcohol)	159	351
propaan-1-ol	149	370
propaan-2-ol	185	355
butaan-1-ol	185	391
butaan-2-ol	185	373
2-methylpropaan-1-ol	171	381
2-methylpropaan-2-ol	299	356
pentaan-1-ol	196	411
2-methylbutaan-1-ol		401
2-methylbutaan-2-ol	264	376
3-methylbutaan-1-ol	156	404
3-methylbutaan-2-ol		386
hexaan-1-ol	226	431
ethaan-1,2-diol (glycol)	260	470
propaan-1,2,3-triol (glycerol)	291	563
fenol [benzenol]	314	455
2-methylfenol	304	464
3-methylfenol	285	475
4-methylfenol	308	475
fenylmethanol	258	478
• *ethers*		
methoxymethaan	132	248
methoxyethaan	160	281
ethoxyethaan (ether)	157	308
1-methoxybutaan	157	343
methoxybenzeen (anisol)	236	427
• *aldehyden en ketonen*		
methanal	181	254
ethanal	150	293
propanal	193	321
butanal	176	348
2-methylpropanal	207	338
fenylmethanal	247	452
propanon (aceton)	178	329
butanon	187	353
pentaan-3-on	234	375
• *carbonzuren*		
methaanzuur (mierenzuur)	281	374
ethaanzuur (azijnzuur)	290	391
propaanzuur	253	414
butaanzuur (boterzuur)	268	437
2-methylpropaanzuur	227	428
[mono]chloorethaanzuur	336	462

vervolg ►

	smeltpunt	*kookpunt*
dichloorethaanzuur	287	467
trichloorethaanzuur	331	470
aminoethaanzuur (glycine)	563 ▶2	
2-hydroxypropaanzuur (melkzuur)	326	376
hexadecaanzuur (palmitinezuur)	336	625
octadecaanzuur (stearinezuur)	342	623 ▶2
cis-octadec-9-eenzuur (oliezuur)	287	633
cis,cis-octadeca-9,12-dieenzuur (linolzuur)	266	502
benzeencarbonzuur (benzoëzuur)	396	522
ethaandizuur (oxaalzuur)	430 ▶1	463 ▶2
• *esters*		
methylmethanoaat	174	305
methylethanoaat	175	330
methylpropanoaat	186	353
ethylethanoaat (ethylacetaat)	189	350
ethylpropanoaat	199	372
ethylbutanoaat	175	394
• *nitrillen*		
ethaannitril	229	355
propaannitril	180	370
butaannitril	161	391
• *aminen en ammoniumzouten*		
methaanamine [methylamine]	180	267
ethaanamine [ethylamine]	193	290
propaan-1-amine	188	320
propaan-2-amine (isopropylamine)	178	305
butaan-1-amine	224	350
butaan-2-amine	201	336
dimethylamine [*N*-methylmethaanamine]	181	280
trimethylamine [*N*,*N*-dimethylmethaanamine]	156	276

	smeltpunt	*kookpunt*
benzeenamine (aniline)	267	457
methaanaminiumchloride [methylammoniumchloride]	501	
ethaanaminiumchloride [ethylammoniumchloride]	383	
benzeenaminiumchloride	474	518
• *nitroverbindingen*		
nitromethaan	245	374
nitroëthaan	184	387
nitrobenzeen	279	484
• *halogeenverbindingen*		
chloormethaan	175	249
broommethaan	179	277
joodmethaan	207	316
chloorethaan	135	285
broomethaan	155	312
joodethaan	162	345
1-chloorpropaan	150	320
2-chloorpropaan	156	309
1-broompropaan	163	344
2-broompropaan	184	333
1-joodpropaan	172	376
2-joodpropaan	183	363
1-chloorbutaan	150	352
1-broombutaan	161	375
dichloormethaan	176	313
dibroommethaan	221	370
trichloormethaan (chloroform)	210	334
tribroommethaan	282	422
tetrachloormethaan (tetra)	251	350
tetrabroommethaan	365	463
dichloordifluormethaan (freon-12)	116	243
chloorbenzeen	228	405
broombenzeen	242	429

1 ▶ sublimatiepunt
2 ▶ ontleedt

43 Dichtheden en molariteiten

A Veel gebruikte oplossingen

bij 298 K

	massaprocent	*dichtheid*	*molariteit*
	%	$kg\,L^{-1}$	$mol\,L^{-1}$
zwavelzuur-oplossing	98,0	1,832	18,32
	17,5	1,118	2,00
	9,26	1,059	1,00
	4,77	1,029	0,500
	0,976	1,0047	0,100
	0,490	1,0016	0,0500
zoutzuur	36,0	1,178	11,63
	13,7	1,065	4,00
	7,06	1,032	2,00
	3,60	1,015	1,00
	0,364	1,002	0,100
salpeterzuur-oplossing	65,0	1,385	14,29
	22,4	1,127	4,00
	11,9	1,064	2,00
	6,12	1,030	1,00
	0,628	1,003	0,100
azijnzuur-oplossing	100	1,044	17,39
	85,0	1,063	15,05
	23,4	1,028	4,00
	5,97	1,006	1,00
	0,601	0,999	0,100

	massaprocent	*dichtheid*	*molariteit*
	%	$kg\,L^{-1}$	$mol\,L^{-1}$
ammonia	32,0	0,883	16,6
	25,0	0,904	13,3
	7,04	0,968	4,00
	3,47	0,982	2,00
	0,171	0,997	0,100
natronloog	13,9	1,150	4,00
	7,42	1,079	2,00
	3,85	1,040	1,00
	0,398	1,005	0,100
kaliloog	19,1	1,179	4,00
	10,3	1,092	2,00
	5,36	1,046	1,00
	0,558	1,005	0,100

B Handelsoplossingen

bij 293 K

	massaprocent	*dichtheid*	*molariteit*
	%	$kg\,L^{-1}$	$mol\,L^{-1}$
geconcentreerd zwavelzuur	95–98	1,8	18
geconcentreerd zoutzuur	36–38	1,2	12
geconcentreerd salpeterzuur	65–70	1,4	15
azijnzuur (ijsazijn)	99–100	1,0	17
geconcentreerde ammonia	25	0,90	13
geconcentreerd fosforzuur	85	1,7	15
verzadigd kalkwater	0,15	1,0	0,020
geconcentreerd natronloog	7,5	1,1	2,0

oplosbaarheid in mol per liter water bij $p = p_0$

tempe-ratuur	H_2	N_2	CO	O_2	CO_2	Cl_2	H_2S	SO_2	HCl	HBr	NH_3
K	10^{-3} mol L^{-1}	10^{-3} mol L^{-1}	10^{-3} mol L^{-1}	10^{-3} mol L^{-1}	10^{-3} mol L^{-1}	10^{-3} mol L^{-1}	10^{-3} mol L^{-1}	mol L^{-1}	mol L^{-1}	mol L^{-1}	mol L^{-1}
273	0,960	1,05	1,58	2,18	76,3	206	208	3,56	22,6	27,4	52,5
283	0,879	0,830	1,26	1,70	53,1	141	152	2,53	21,1	26,0	40,0
293	0,817	0,688	1,04	1,38	38,8	103	115	1,76	19,7	24,4	31,3
298	0,790	0,638	0,955	1,26	33,5	90,2	102	1,46	19,0	23,9	27,8
303	0,759	0,598	0,893	1,16	29,5	80,4	91,1	1,18	18,3	23,0	25,1
313	0,732	0,527	0,790	1,03	23,2	64,3	74,1	0,84	17,2	22,0	21,5
323	0,719	0,487	0,719	0,933	19,2	54,5	62,1	0,66	16,0	21,2	19,5
333	0,714	0,455	0,665	0,871	15,6	45,5	53,1	0,54	15,1	20,4	18,5
343		0,438	0,643	0,817		38,4	45,5	0,53	14,3	18,5	17,5
353		0,429	0,638	0,786		30,4	41,1		13,6	17,6	
363		0,424	0,634	0,768		17,4	37,5		13,3		
373		0,424	0,629	0,759		0,0	36,2				

■ De concentratie van het opgeloste gas is evenredig met de partiële druk van het gas (wet van Henry). Dit geldt voor gassen die geen reactie geven met het oplosmiddel.

Zuurstof in chloridehoudend water B

oplosbaarheid in 10^{-3} L O_2(g) per liter water; $p = p_0$

concentratie Cl^-	*temperatuur in* K						
g L^{-1}	273	278	283	288	293	298	303
0	49	43	38	34	31	28	26
5	46	41	36	32	29	26	24
10	43	38	34	31	28	25	23
15	41	36	32	29	26	24	22
20	38	34	30	27	25	23	21

■ Gemiddelde samenstelling van onvervuild zeewater: zie tabel 64A.

45 Oplosbaarheid van vaste stoffen en vloeistoffen

A Zouten in water: schematisch overzicht

oplosbaarheid bij kamertemperatuur

positieve ionen	*negatieve ionen* NO_3^-	CH_3COO^-	Cl^-	Br^-	I^-	SO_4^{2-}	F^-	S^{2-}	OH^-	SO_3^{2-}	CO_3^{2-}	PO_4^{3-}	O^{2-}
Na^+	g	g	g	g	g	g	g	r	g	g	g	g	r
K^+	g	g	g	g	g	g	g	r	g	g	g	g	r
NH_4^+	g	g	g	g	g	g	g	r	i	g	r	r	i
Mg^{2+}	g	g	g	g	g	g	s	r	s	m	m	s	s
Al^{3+}	g	g	g	g	g	g	g	r	s	r	r	s	s
Fe^{2+}	g	g	g	g	g	g	m	s	s	s	s	s	s
Zn^{2+}	g	g	g	g	g	g	g	s	s	s	s	s	s
Fe^{3+}	g	g	g	g	r	g	m	r	s	r	r	s	s
Cu^{2+}	g	g	g	g	r	g	g	s	s	s	s	s	s
Ca^{2+}	g	g	g	g	g	m	s	r	m	s	s	s	r
Ba^{2+}	g	g	g	g	g	s	m	r	g	s	s	s	r
Hg^{2+}	g	g	g	m	s	r	r	s	i	r	s	s	s
Pb^{2+}	g	g	m	m	s	s	m	s	s	s	s	s	s
$Hg^+ (Hg_2^{2+})$	g	m	s	s	s	s	r	s	i	s	s	s	s
Ag^+	g	m	s	s	s	m	g	s	i	s	s	s	s

- De waterstofzouten zijn in het algemeen goed in water oplosbaar;
  veel hydroxidezouten zijn slecht oplosbaar;
  de zwaar-metaalhydroxiden zijn instabiel (splitsen water af).
- Betekenis der symbolen:
  g = goed oplosbaar in water (meer dan ca. 0,1 mol L^{-1})
  m = matig oplosbaar in water (minder dan ca. 0,1 mol L^{-1} en meer dan ca. 0,01 mol L^{-1})
  s = slecht oplosbaar in water (minder dan ca. 0,01 mol L^{-1})
  i = instabiel
  r = reageert in water
- Opgelost S^{2-} reageert aflopend tot HS^-

B Zouten in water: kwantitatieve gegevens

oplosbaarheid bij 298 K

	$\frac{mol}{kg\ water}$	$\frac{g}{kg\ water}$
$AgNO_3$	$1,38 \cdot 10^{1}$	$2,34 \cdot 10^{3}$
$AlCl_3 \cdot 6H_2O$	2,48	$5,98 \cdot 10^{2}$
$Al_2(SO_4)_3$	1,13	$3,85 \cdot 10^{2}$
$BaCl_2$	1,78	$3,70 \cdot 10^{2}$
$Ba(NO_3)_2$	$3,92 \cdot 10^{-1}$	$1,03 \cdot 10^{2}$
$Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$	$2,75 \cdot 10^{-1}$	$8,68 \cdot 10^{1}$
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	1,22	$3,06 \cdot 10^{2}$
$FeCl_2 \cdot 4H_2O$	3,76	$7,44 \cdot 10^{2}$
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	1,56	$4,34 \cdot 10^{2}$
$HgCl_2$	$2,69 \cdot 10^{-1}$	$7,31 \cdot 10^{1}$
$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	$3,81 \cdot 10^{-1}$	$1,81 \cdot 10^{2}$

	$\frac{mol}{kg\ water}$	$\frac{g}{kg\ water}$
KBr	5,70	$6,78 \cdot 10^{2}$
KCN	$1,10 \cdot 10^{1}$	$7,18 \cdot 10^{2}$
K_2CO_3	8,06	$1,11 \cdot 10^{3}$
KCl	4,77	$3,55 \cdot 10^{2}$
$KClO_3$	$7,03 \cdot 10^{-1}$	$8,61 \cdot 10^{1}$
KF	$1,75 \cdot 10^{1}$	$1,02 \cdot 10^{3}$
$K_3Fe(CN)_6$	1,48	$4,88 \cdot 10^{2}$
$K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$	$8,31 \cdot 10^{-1}$	$3,51 \cdot 10^{2}$
$KHCO_3$	3,62	$3,62 \cdot 10^{2}$
$KHSO_4$	3,72	$5,06 \cdot 10^{2}$
KI	8,92	$1,48 \cdot 10^{3}$

vervolg ▶

Zouten in water: kwantitatieve gegevens | B

	$\frac{\text{mol}}{\text{kg water}}$	$\frac{\text{g}}{\text{kg water}}$
KNO_3	3,79	$3{,}83 \cdot 10^2$
KOH	$2{,}15 \cdot 10^1$	$1{,}21 \cdot 10^3$
$KSCN$	$2{,}45 \cdot 10^1$	$2{,}38 \cdot 10^3$
K_2SO_4	$6{,}88 \cdot 10^{-1}$	$1{,}20 \cdot 10^2$
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	3,60	$7{,}31 \cdot 10^2$
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	2,16	$5{,}32 \cdot 10^2$
NH_4Cl	7,39	$3{,}96 \cdot 10^2$
NH_4NO_3	$2{,}65 \cdot 10^1$	$2{,}13 \cdot 10^3$
$(NH_4)_2SO_4$	5,78	$7{,}64 \cdot 10^2$
$NaBr$	9,19	$9{,}46 \cdot 10^2$
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	2,90	$8{,}29 \cdot 10^2$
$NaCl$	6,15	$3{,}60 \cdot 10^2$

	$\frac{\text{mol}}{\text{kg water}}$	$\frac{\text{g}}{\text{kg water}}$
$NaHCO_3$	1,22	$1{,}03 \cdot 10^2$
$NaHSO_4$	5,26	$6{,}32 \cdot 10^2$
NaI	$1{,}23 \cdot 10^1$	$1{,}84 \cdot 10^3$
$NaNO_2$	$1{,}23 \cdot 10^1$	$8{,}48 \cdot 10^2$
$NaNO_3$	$1{,}07 \cdot 10^1$	$9{,}12 \cdot 10^2$
$NaOH$	$2{,}50 \cdot 10^1$	$1{,}00 \cdot 10^3$
Na_2S	2,64	$2{,}06 \cdot 10^2$
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	1,46	$4{,}70 \cdot 10^2$
$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	3,37	$8{,}35 \cdot 10^2$
$Pb(NO_3)_2$	1,80	$5{,}97 \cdot 10^2$
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	2,46	$7{,}09 \cdot 10^2$

■ De gegeven waarden betreffen de oplosbaarheid per totale hoeveelheid water.
Bij een hydraat moet de som van het kristalwater en het toegevoegde oploswater worden genomen.

In verschillende oplosmiddelen | C

oplosbaarheid bij kamertemperatuur in verschillende oplosmiddelen

	water	*propanon (aceton)*	*ethanol (alcohol)*	*ethoxyethaan (ether)*	*koolstof-disulfide*
propanon (aceton)	∾		∾	∾	∾
ethanol (alcohol)	∾	∾		∾	m
ethoxyethaan (ether)	m	∾	∾		∾
fosfor rood	–	–	–	–	–
fosfor wit	s	s	s	m	g ▶1
jood	s ▶2	g	g ▶1	g	g
koolstofdisulfide	s	∾	m	∾	
paraffine	–	s	s	m	g ▶1
octadecaanzuur (stearinezuur)	–	g	g	g ▶1	m
zwavel (rombisch)	–	s	s	s	g ▶1

■ betekenis der symbolen:
- – onoplosbaar
- s slecht oplosbaar
- m matig oplosbaar
- g goed oplosbaar
- ∾ in alle verhoudingen mengbaar

1 ▶ meest gebruikte oplosmiddel(en)
2 ▶ goed oplosbaar in een kaliumjodideoplossing onder vorming van I_3^--ionen

bij 298 K

	oplosbaarheids-product K_s	pK_s		*oplosbaarheids-product* K_s	pK_s
AgBr	$5{,}4 \cdot 10^{-13}$	12,27	Cu_2O	$2 \cdot 10^{-15}$	14,7
AgCl	$1{,}8 \cdot 10^{-10}$	9,74	CuS	$8 \cdot 10^{-37}$	36,1
Ag_2CO_3	$8{,}5 \cdot 10^{-12}$	11,07	$Fe(OH)_2$	$4{,}9 \cdot 10^{-17}$	16,31
Ag_2CrO_4	$1{,}1 \cdot 10^{-12}$	11,96	$Fe(OH)_3$	$2{,}8 \cdot 10^{-39}$	38,55
AgI	$8{,}5 \cdot 10^{-17}$	16,07	FeS	$8 \cdot 10^{-19}$	18,1
Ag_3PO_4	$8{,}9 \cdot 10^{-17}$	16,05	HgS	$1 \cdot 10^{-53}$	53,0
Ag_2S	$8 \cdot 10^{-51}$	50,1	$MgCO_3$	$6{,}8 \cdot 10^{-6}$	5,17
AgSCN	$1{,}0 \cdot 10^{-12}$	12,00	$Mg(OH)_2$	$5{,}6 \cdot 10^{-12}$	11,25
Ag_2SO_4	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$	4,92	MnS	$3 \cdot 10^{-14}$	13,50
$Al(OH)_3$	$3 \cdot 10^{-34}$	33,50	$PbBr_2$	$6{,}6 \cdot 10^{-6}$	5,18
$AlPO_4$	$9{,}8 \cdot 10^{-21}$	20,01	$PbCl_2$	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$	4,77
$BaCO_3$	$2{,}6 \cdot 10^{-9}$	8,59	$PbCO_3$	$7{,}4 \cdot 10^{-14}$	13,13
$BaCrO_4$	$1{,}2 \cdot 10^{-10}$	9,92	$PbCrO_4$	$3 \cdot 10^{-13}$	12,5
$BaSO_4$	$1{,}1 \cdot 10^{-10}$	9,96	PbI_2	$9{,}8 \cdot 10^{-9}$	8,01
$CaCO_3$	$4{,}7 \cdot 10^{-9}$	8,33	$Pb(OH)_2$	$1{,}4 \cdot 10^{-20}$	19,85
CaC_2O_4	$2{,}3 \cdot 10^{-9}$	8,64	PbS	$3 \cdot 10^{-28}$	27,5
CaF_2	$3{,}5 \cdot 10^{-11}$	10,46	$PbSO_4$	$2{,}5 \cdot 10^{-8}$	7,60
$Ca(OH)_2$	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$	5,30	SnS	$1 \cdot 10^{-25}$	25,0
$CaSO_4$	$4{,}9 \cdot 10^{-5}$	4,31	$SrSO_4$	$3{,}4 \cdot 10^{-7}$	6,47
$Cr(OH)_3$	$6 \cdot 10^{-31}$	30,2	$ZnCO_3$	$1{,}5 \cdot 10^{-10}$	9,82
CuI	$1{,}3 \cdot 10^{-12}$	11,89	$Zn(OH)_2$	$3 \cdot 10^{-17}$	16,5
$Cu(OH)_2$	$1{,}6 \cdot 10^{-19}$	18,80	ZnS	$3 \cdot 10^{-23}$	22,5

bij 298 K

Bij deeltjes zonder toestandsaanduiding moet steeds (aq) worden gelezen.

evenwichtsreactie ▶1			*dissociatieconstante* K_d	pK_d
$Ag(CN)_2^-$	⇌	$AgCN(s) + CN^-$	$4 \cdot 10^{-6}$	5,4
$AgCl_2^-$	⇌	$AgCl(s) + Cl^-$	$2 \cdot 10^{4}$	−4,3
$Ag(NH_3)_2^+$	⇌	$Ag^+ + 2\ NH_3$	$5{,}9 \cdot 10^{-8}$	7,23
$Ag(S_2O_3)_2^{3-}$	⇌	$Ag^+ + 2\ S_2O_3^{2-}$	$1 \cdot 10^{-13}$	13,0
$Al(OH)_4^-$	⇌	$Al(OH)_3(s) + OH^-$	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	1,60
AlF_6^{3-}	⇌	$Al^{3+} + 6\ F^-$	$2 \cdot 10^{-20}$	19,7
$Co(NH_3)_6^{2+}$	⇌	$Co^{2+} + 6\ NH_3$	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$	4,89
$Co(NH_3)_6^{3+}$	⇌	$Co^{3+} + 6\ NH_3$	10^{-33}	33
$CuCl_4^{2-}$	⇌	$Cu^{2+} + 4\ Cl^-$	$2{,}4 \cdot 10^{-6}$	5,62
$Cu(NH_3)_4^{2+}$	⇌	$Cu^{2+} + 4\ NH_3$	$7{,}1 \cdot 10^{-14}$	13,15
$Fe(CN)_6^{4-}$	⇌	$Fe^{2+} + 6\ CN^-$	10^{-24}	24
$Fe(CN)_6^{3-}$	⇌	$Fe^{3+} + 6\ CN^-$	10^{-31}	31
$FeSCN^{2+}$	⇌	$Fe^{3+} + SCN^-$	$1{,}1 \cdot 10^{-3}$	2,96
HgI_4^{2-}	⇌	$HgI_2(s) + 2\ I^-$	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$	6,00
I_3^-	⇌	$I_2 + I^-$	$1{,}4 \cdot 10^{-3}$	2,85
$Pb(OH)_4^{2-}$	⇌	$Pb(OH)_2(s) + 2\ OH^-$	$1 \cdot 10^{1}$	−1,0
$Zn(NH_3)_4^{2+}$	⇌	$Zn^{2+} + 4\ NH_3$	$2{,}6 \cdot 10^{-10}$	9,59
$Zn(OH)_4^{2-}$	⇌	$Zn(OH)_2(s) + 2\ OH^-$	$1 \cdot 10^{-1}$	1,0

EDTA-complexen

Y^{4-} = EDTA = ethyleendiaminetetraäcetaat [ethyleendinitrilotetraëthanoaat]

AgY^{3-}	⇌	Ag^+	$+ Y^{4-}$	$4{,}8 \cdot 10^{-8}$	7,32
AlY^-	⇌	Al^{3+}	$+ Y^{4-}$	$7{,}4 \cdot 10^{-17}$	16,13
BaY^{2-}	⇌	Ba^{2+}	$+ Y^{4-}$	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$	7,76
CaY^{2-}	⇌	Ca^{2+}	$+ Y^{4-}$	$2{,}0 \cdot 10^{-11}$	10,70
CuY^{2-}	⇌	Cu^{2+}	$+ Y^{4-}$	$1{,}6 \cdot 10^{-19}$	18,80
FeY^{2-}	⇌	Fe^{2+}	$+ Y^{4-}$	$4{,}7 \cdot 10^{-15}$	14,33
FeY^-	⇌	Fe^{3+}	$+ Y^{4-}$	$7{,}9 \cdot 10^{-26}$	25,10
MgY^{2-}	⇌	Mg^{2+}	$+ Y^{4-}$	$2{,}0 \cdot 10^{-9}$	8,69
PbY^{2-}	⇌	Pb^{2+}	$+ Y^{4-}$	$9{,}1 \cdot 10^{-19}$	18,04
ZnY^{2-}	⇌	Zn^{2+}	$+ Y^{4-}$	$3{,}2 \cdot 10^{-17}$	16,50

1 ▶ In deze reactievergelijkingen zijn de eventuele H_2O-liganden steeds weggelaten.

48 Standaardelektrodepotentialen

standaardelektrodepotentiaal in V bij $T = 298$ K en $p = p_0$

De reacties vinden plaats in oplossing; alle ionen zijn gehydrateerd. De concentraties van de opgeloste deeltjes zijn steeds 1,00 mol L^{-1}.
Bij deeltjes zonder toestandsaanduiding moet steeds (aq) worden gelezen.

oxidator		*reductor*	*standaard-elektrodepotentiaal*
$F_2(g) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,F^-$	+2,87
$O_3(g) + 2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$H_2O(l) + O_2(g)$	+2,08
$H_2O_2 + 2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,H_2O(l)$	+1,78
$N_2O(g) + 2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$N_2(g) + H_2O(l)$	+1,77
$Ce^{4+} + e^-$	$\rightleftharpoons$	Ce^{3+}	+1,72
$PbO_2(s) + SO_4^{2-} + 4\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$PbSO_4(s) + 2\,H_2O(l)$	+1,69
$2\,HClO + 2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Cl_2(g) + 2\,H_2O(l)$	+1,61
$2\,NO(g) + 2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$N_2O(g) + H_2O(l)$	+1,59
$MnO_4^- + 8\,H^+ + 5\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Mn^{2+} + 4\,H_2O(l)$	+1,51
$Au^{3+} + 3\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Au(s)$	+1,50
$Mn_2O_3(s) + 6\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,Mn^{2+} + 3\,H_2O(l)$	+1,49
$PbO_2(s) + 4H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Pb^{2+} + 2\,H_2O(l)$	+1,46
$ClO_3^- + 6\,H^+ + 6\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Cl^- + 3\,H_2O(l)$	+1,45
$Cl_2(g) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,Cl^-$	+1,36
$Cr_2O_7^{2-} + 14\,H^+ + 6\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,Cr^{3+} + 7\,H_2O(l)$	+1,36
$O_3(g) + H_2O(l) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,OH^- + O_2(g)$	+1,24
$O_2(g) + 4\,H^+ + 4\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,H_2O(l)$	+1,23
$MnO_2(s) + 4\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Mn^{2+} + 2\,H_2O(l)$	+1,22
$Br_2 + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,Br^-$	+1,09
$Br_2(l) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,Br^-$	+1,07
$AuCl_4^- + 3\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Au(s) + 4\,Cl^-$	+1,00
$HNO_2 + H^+ + e^-$	$\rightleftharpoons$	$NO(g) + H_2O(l)$	+0,98
$NO_3^- + 4\,H^+ + 3\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$NO(g) + 2\,H_2O(l)$	+0,96
$H_2O_2 + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,OH^-$	+0,95
$NO_3^- + 3H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$HNO_2 + H_2O(l)$	+0,93
$Hg^{2+} + e^-$	$\rightleftharpoons$	Hg^+ [►1]	+0,92
$Cu^{2+} + I^- + e^-$	$\rightleftharpoons$	$CuI(s)$	+0,85
$Hg^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Hg(l)$	+0,85
$Ag^+ + e^-$	$\rightleftharpoons$	$Ag(s)$	+0,80
$Hg^+ + e^-$	$\rightleftharpoons$	$Hg(l)$ [►3]	+0,80
$NO_3^- + 2\,H^+ + e^-$	$\rightleftharpoons$	$NO_2(g)$ [►2] $+ H_2O(l)$	+0,80
$Fe^{3+} + e^-$	$\rightleftharpoons$	Fe^{2+}	+0,77
$O_2(g) + 2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	H_2O_2	+0,70
$MnO_4^- + 2\,H_2O(l) + 3\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$MnO_2(s) + 4\,OH^-$	+0,60
$MnO_4^- + e^-$	$\rightleftharpoons$	MnO_4^{2-}	+0,56
$I_2 + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,I^-$	+0,54
$I_2(s) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,I^-$	+0,54
$I_3^- + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$3\,I^-$	+0,54
$Cu^+ + e^-$	$\rightleftharpoons$	$Cu(s)$	+0,52
$NiO(OH)(s) + H_2O(l) + e^-$	$\rightleftharpoons$	$Ni(OH)_2(s) + OH^-$	+0,52
$NiO_2(s) + 2\,H_2O(l) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Ni(OH)_2(s) + 2\,OH^-$	+0,49
$O_2(g) + 2\,H_2O(l) + 4\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$4\,OH^-$	+0,40
$Fe(CN)_6^{3-} + e^-$	$\rightleftharpoons$	$Fe(CN)_6^{4-}$	+0,36
$Cu^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Cu(s)$	+0,34

vervolg ▶

oxidator		*reductor*	*standaard-elektrodepotentiaal*
$HgCl(s) + e^-$	$\rightleftharpoons$	$Hg(l) + Cl^-$ ▶4	+0,27
$AgCl(s) + e^-$	$\rightleftharpoons$	$Ag(s) + Cl^-$	+0,22
$SO_4^{2-} + 4\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$SO_2 + 2\,H_2O(l)$ ▶5	+0,17
$Cu^{2+} + e^-$	$\rightleftharpoons$	Cu^+	+0,15
$Mn(OH)_3(s) + e^-$	$\rightleftharpoons$	$Mn(OH)_2(s) + OH^-$	+0,15
$MnO_2(s) + H_2O(l) + e^-$	$\rightleftharpoons$	$MnO(OH)(s) + OH^-$	+0,15
$2\,NO_2^- + 3\,H_2O(l) + 4\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$N_2O(g) + 6\,OH^-$	+0,15
$Sn^{4+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	Sn^{2+}	+0,15
$S(s) + 2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$H_2S(g)$	+0,14
$S_4O_6^{2-} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,S_2O_3^{2-}$	+0,10
$N_2(g) + 6\,H^+ + 6\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\,NH_3$	+0,09
$HCOOH + 2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$H_2CO + H_2O(l)$	+0,08
$NO_3^- + H_2O(l) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$NO_2^- + 2\,OH^-$ ▶6	+0,01
$2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$H_2(g)$	0
$S(s) + H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	HS^-	–0,06
$SO_4^{2-} + 2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$SO_3^{2-} + H_2O(l)$ ▶5	–0,09
$Pb^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Pb(s)$	–0,13
$Sn^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Sn(s)$	–0,14
$Ni^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Ni(s)$	–0,26
$Co^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Co(s)$	–0,28
$H_3PO_4 + 2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$H_3PO_3 + H_2O$	–0,28
$PbSO_4(s) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Pb(s) + SO_4^{2-}$	–0,36
$Cd^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Cd(s)$	–0,40
$Fe^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Fe(s)$	–0,45
$S(s) + H_2O(l) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$HS^- + OH^-$	–0,48
$2\,CO_2(g) + 2\,H^+ + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$H_2C_2O_4$	–0,49
$Ni(OH)_2(s) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Ni(s) + 2\,OH^-$	–0,72
$Cr^{3+} + 3\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Cr(s)$	–0,74
$Zn^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Zn(s)$	–0,76
$Cd(OH)_2(s) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Cd(s) + 2\,OH^-$	–0,81
$2\,H_2O(l) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$H_2(g) + 2\,OH^-$	–0,83
$SO_4^{2-} + H_2O(l) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$SO_3^{2-} + 2\,OH^-$ ▶5	–0,93
$Zn(OH)_4^{2-} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Zn(s) + 4\,OH^-$	–1,20
$Al^{3+} + 3\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Al(s)$	–1,66
$Al(OH)_4^- + 3\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Al(s) + 4\,OH^-$	–2,33
$Mg^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Mg(s)$	–2,37
$Mg(OH)_2(s) + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Mg(s) + 2\,OH^-$	–2,69
$Na^+ + e^-$	$\rightleftharpoons$	$Na(s)$	–2,71
$Ca^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Ca(s)$	–2,87
$Ba^{2+} + 2\,e^-$	$\rightleftharpoons$	$Ba(s)$	–2,91
$K^+ + e^-$	$\rightleftharpoons$	$K(s)$	–2,93
$Li^+ + e^-$	$\rightleftharpoons$	$Li(s)$	–3,04

■ De vermelde waarden kunnen in enkele gevallen vrij sterk afwijken van gegevens uit andere bronnen. Meestal is de keuze van het milieu de oorzaak.

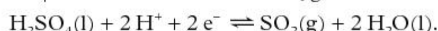
1 ▶ eigenlijk: $2\,Hg^{2+} + 2\,e^- \rightleftharpoons Hg_2^{2+}$

2 ▶ Er stelt zich een evenwicht in: $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2\,NO_2(g)$.

3 ▶ eigenlijk: $Hg_2^{2+} + 2\,e^- \rightleftharpoons 2\,Hg(l)$

4 ▶ eigenlijk: $Hg_2Cl_2(s) + 2\,e^- \rightleftharpoons 2\,Hg(l) + 2\,Cl^-$

5 ▶ SO_4^{2-} is alléén oxidator in warm, geconcentreerd H_2SO_4 volgens:


$H_2SO_4(l) + 2\,H^+ + 2\,e^- \rightleftharpoons SO_2(g) + 2\,H_2O(l)$.

6 ▶ Treedt alleen op onder invloed van enzymen.

49 Zuur- en baseconstanten

in water als oplosmiddel; $T = 298$ K

zuur	*zuurconstante* K_z	pK_z	*base*	*baseconstante* K_b	pK_b
$HClO_4$	$\gg 1$	< 0	ClO_4^-	$\ll 10^{-14}$	> 14
HI	$\gg 1$	< 0	I^-	$\ll 10^{-14}$	> 14
HBr	$\gg 1$	< 0	Br^-	$\ll 10^{-14}$	> 14
HCl	$\gg 1$	< 0	Cl^-	$\ll 10^{-14}$	> 14
H_2SO_4	$\gg 1$	< 0	HSO_4^-	$\ll 10^{-14}$	> 14
HNO_3	$\gg 1$	< 0	NO_3^-	$\ll 10^{-14}$	> 14
$HClO_3$	$\gg 1$	< 0	ClO_3^-	$\ll 10^{-14}$	> 14
H_3O^+			H_2O		
$CCl_3{-}COOH$	$2{,}2 \cdot 10^{-1}$	0,66	$CCl_3{-}COO^-$	$4{,}6 \cdot 10^{-14}$	13,34
H_2CrO_4	$1{,}8 \cdot 10^{-1}$	0,74	$HCrO_4^-$	$5{,}5 \cdot 10^{-14}$	13,26
HIO_3	$1{,}7 \cdot 10^{-1}$	0,78	IO_3^-	$6{,}0 \cdot 10^{-14}$	13,22
$H_2C_2O_4$	$5{,}6 \cdot 10^{-2}$	1,25	$HC_2O_4^-$	$1{,}8 \cdot 10^{-13}$	12,75
$CHCl_2{-}COOH$	$4{,}4 \cdot 10^{-2}$	1,35	$CHCl_2{-}COO^-$	$2{,}2 \cdot 10^{-13}$	12,65
H_3PO_3	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$	1,80	$H_2PO_3^-$	$6{,}3 \cdot 10^{-13}$	12,20
$SO_2 + H_2O$ (H_2SO_3)	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	1,85	HSO_3^-	$7{,}1 \cdot 10^{-13}$	12,15
HOOCCH=CHCOOH (*cis*)	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	1,92	$HOOCCH{=}CHCOO^-$ (*cis*)	$8{,}3 \cdot 10^{-13}$	12,08
$HClO_2$	$1{,}1 \cdot 10^{-2}$	1,94	ClO_2^-	$8{,}7 \cdot 10^{-13}$	12,06
HSO_4^-	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$	1,98	SO_4^{2-}	$9{,}5 \cdot 10^{-13}$	12,02
H_3PO_4	$6{,}9 \cdot 10^{-3}$	2,16	$H_2PO_4^-$	$1{,}4 \cdot 10^{-12}$	11,84
H_3AsO_4	$5{,}5 \cdot 10^{-3}$	2,26	$H_2AsO_4^-$	$1{,}8 \cdot 10^{-12}$	11,74
$NH_3^+{-}CH_2{-}COOH$	$4{,}5 \cdot 10^{-3}$	2,35	$NH_3^+{-}CH_2{-}COO^-$	$2{,}2 \cdot 10^{-12}$	11,65
H_2Te	$2{,}3 \cdot 10^{-3}$	2,64	HTe^-	$4{,}4 \cdot 10^{-12}$	11,36
$CH_3{-}CHCl{-}COOH$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	2,83	$CH_3{-}CHCl{-}COO^-$	$6{,}8 \cdot 10^{-12}$	11,17
$Fe(H_2O)_6^{3+}$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	2,83	$FeOH(H_2O)_5^{2+}$	$6{,}8 \cdot 10^{-12}$	11,17
$HOOCCH_2COOH$	$1{,}4 \cdot 10^{-3}$	2,85	$HOOCCH_2COO^-$	$7{,}1 \cdot 10^{-12}$	11,15
$CH_2Cl{-}COOH$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	2,87	$CH_2Cl{-}COO^-$	$7{,}4 \cdot 10^{-12}$	11,13
HOOCCH=CHCOOH (*trans*)	$9{,}6 \cdot 10^{-4}$	3,02	$HOOCCH{=}CHCOO^-$ (*trans*)	$1{,}1 \cdot 10^{-11}$	10,98
$H_3C_6H_5O_7$ (citroenzuur, H_3Cz)	$7{,}4 \cdot 10^{-4}$	3,13	$H_2C_6H_5O_7^-$ (H_2Cz^-)	$1{,}3 \cdot 10^{-11}$	10,87
HF	$6{,}3 \cdot 10^{-4}$	3,20	F^-	$1{,}6 \cdot 10^{-11}$	10,80
HNO_2	$5{,}6 \cdot 10^{-4}$	3,25	NO_2^-	$1{,}8 \cdot 10^{-11}$	10,75
$HCOOH$	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$	3,75	$HCOO^-$	$5{,}6 \cdot 10^{-11}$	10,25
$HC_2O_4^-$	$1{,}6 \cdot 10^{-4}$	3,81	$C_2O_4^{2-}$	$6{,}3 \cdot 10^{-11}$	10,19
$Cr(H_2O)_6^{3+}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	3,82	$CrOH(H_2O)_5^{2+}$	$6{,}6 \cdot 10^{-11}$	10,18
$CH_3CHOHCOOH$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	3,86	$CH_3CHOHCOO^-$	$7{,}2 \cdot 10^{-11}$	10,14
H_2Se	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	3,89	HSe^-	$7{,}8 \cdot 10^{-11}$	10,11
$CH_2Cl{-}CH_2{-}COOH$	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	3,98	$CH_2Cl{-}CH_2{-}COO^-$	$9{,}5 \cdot 10^{-11}$	10,02
$H_2C_6H_6O_6$ (ascorbinezuur, H_2Az)	$9{,}1 \cdot 10^{-5}$	4,04	$HC_6H_6O_6^-$ (HAz^-)	$1{,}1 \cdot 10^{-10}$	9,96
$C_6H_5{-}COOH$	$6{,}3 \cdot 10^{-5}$	4,20	$C_6H_5{-}COO^-$	$1{,}6 \cdot 10^{-10}$	9,80
$CH_2{=}CH{-}COOH$	$5{,}6 \cdot 10^{-5}$	4,25	$CH_2{=}CH{-}COO^-$	$1{,}8 \cdot 10^{-10}$	9,75
$HOOCCH{=}CHCOO^-$ (*trans*)	$4{,}2 \cdot 10^{-5}$	4,38	$^-OOCCH{=}CHCOO^-$ (*trans*)	$2{,}4 \cdot 10^{-10}$	9,62
$CH_3{-}COOH$	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$	4,76	$CH_3{-}COO^-$	$5{,}8 \cdot 10^{-10}$	9,24
$H_2C_6H_5O_7^-$ (H_2Cz^-)	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$	4,76	$HC_6H_5O_7^{2-}$ (HCz^{2-})	$5{,}8 \cdot 10^{-10}$	9,24
$CH_3CH_2CH_2COOH$	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$	4,83	$CH_3CH_2CH_2COO^-$	$6{,}8 \cdot 10^{-10}$	9,17
$CH_3{-}CH_2{-}COOH$	$1{,}4 \cdot 10^{-5}$	4,87	$CH_3{-}CH_2{-}COO^-$	$7{,}4 \cdot 10^{-10}$	9,13
$C_6H_5{-}NH_3^+$	$1{,}4 \cdot 10^{-5}$	4,87	$C_6H_5{-}NH_2$	$7{,}4 \cdot 10^{-10}$	9,13
$Al(H_2O)_6^{3+}$	$9{,}8 \cdot 10^{-6}$	5,01	$AlOH(H_2O)_5^{2+}$	$1{,}0 \cdot 10^{-9}$	8,99
$HOOCCH_2COO^-$	$2{,}0 \cdot 10^{-6}$	5,70	$^-OOCCH_2COO^-$	$5{,}0 \cdot 10^{-9}$	8,30
$HOOCCH{=}CHCOO^-$ (*cis*)	$5{,}9 \cdot 10^{-7}$	6,23	$^-OOCCH{=}CHCOO^-$ (*cis*)	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$	7,77
$CO_2 + H_2O$ (H_2CO_3)	$4{,}5 \cdot 10^{-7}$	6,35	HCO_3^-	$2{,}2 \cdot 10^{-8}$	7,65
$HC_6H_5O_7^{2-}$ (HCz^{2-})	$4{,}0 \cdot 10^{-7}$	6,40	$C_6H_5O_7^{3-}$ (Cz^{3-})	$2{,}5 \cdot 10^{-8}$	7,60
$HCrO_4^-$	$3{,}2 \cdot 10^{-7}$	6,49	CrO_4^{2-}	$3{,}1 \cdot 10^{-8}$	7,51

vervolg

zuur	*zuurconstante* K_z	pK_z	*base*	*baseconstante* K_b	pK_b
$Fe(H_2O)_6^{2+}$	$1{,}8 \cdot 10^{-7}$	6,74	$FeOH(H_2O)_5^{+}$	$5{,}5 \cdot 10^{-8}$	7,26
$H_2AsO_4^{-}$	$1{,}7 \cdot 10^{-7}$	6,76	$HAsO_4^{2-}$	$5{,}8 \cdot 10^{-8}$	7,24
H_2S	$8{,}9 \cdot 10^{-8}$	7,05	HS^{-}	$1{,}1 \cdot 10^{-7}$	6,95
$H_2PO_4^{-}$	$6{,}2 \cdot 10^{-8}$	7,21	HPO_4^{2-}	$1{,}6 \cdot 10^{-7}$	6,79
HSO_3^{-}	$6{,}2 \cdot 10^{-8}$	7,21	SO_3^{2-}	$1{,}6 \cdot 10^{-7}$	6,79
$HClO$	$4{,}0 \cdot 10^{-8}$	7,40	ClO^{-}	$2{,}5 \cdot 10^{-7}$	6,60
$Pb(H_2O)_n^{2+}$	$1{,}6 \cdot 10^{-8}$	7,80	$PbOH(H_2O)_{n-1}^{+}$	$6{,}3 \cdot 10^{-7}$	6,20
$Cu(H_2O)_6^{2+}$	$1{,}0 \cdot 10^{-8}$	8,00	$CuOH(H_2O)_5^{+}$	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$	6,00
$HBrO$	$2{,}8 \cdot 10^{-9}$	8,55	BrO^{-}	$3{,}5 \cdot 10^{-6}$	5,45
$Zn(H_2O)_6^{2+}$	$1{,}1 \cdot 10^{-9}$	8,96	$ZnOH(H_2O)_5^{+}$	$9{,}1 \cdot 10^{-6}$	5,04
HCN	$6{,}1 \cdot 10^{-10}$	9,21	CN^{-}	$1{,}6 \cdot 10^{-5}$	4,79
H_3AsO_3	$6{,}0 \cdot 10^{-10}$	9,22	$H_2AsO_3^{-}$	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$	4,78
NH_4^{+}	$5{,}6 \cdot 10^{-10}$	9,25	NH_3	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$	4,75
H_3BO_3	$5{,}4 \cdot 10^{-10}$	9,27	$H_2BO_3^{-}$	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$	4,73
$NH_3^{+}-CH_2-COO^{-}$	$1{,}7 \cdot 10^{-10}$	9,78	$NH_2-CH_2-COO^{-}$	$6{,}0 \cdot 10^{-5}$	4,22
$(CH_3)_3NH^{+}$	$1{,}6 \cdot 10^{-10}$	9,80	$(CH_3)_3N$	$6{,}3 \cdot 10^{-5}$	4,20
C_6H_5OH	$1{,}0 \cdot 10^{-10}$	9,99	$C_6H_5O^{-}$	$9{,}8 \cdot 10^{-5}$	4,01
HCO_3^{-}	$4{,}7 \cdot 10^{-11}$	10,33	CO_3^{2-}	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	3,67
HIO	$2{,}3 \cdot 10^{-11}$	10,64	IO^{-}	$4{,}4 \cdot 10^{-4}$	3,36
$C_2H_5NH_3^{+}$	$2{,}2 \cdot 10^{-11}$	10,65	$C_2H_5NH_2$	$4{,}5 \cdot 10^{-4}$	3,35
$CH_3-NH_3^{+}$	$2{,}2 \cdot 10^{-11}$	10,66	CH_3-NH_2	$4{,}6 \cdot 10^{-4}$	3,34
$(CH_3)_2NH_2^{+}$	$1{,}9 \cdot 10^{-11}$	10,73	$(CH_3)_2NH$	$5{,}4 \cdot 10^{-4}$	3,27
$HAsO_4^{2-}$	$5{,}1 \cdot 10^{-12}$	11,29	AsO_4^{3-}	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	2,71
H_2O_2	$2{,}4 \cdot 10^{-12}$	11,62	HO_2^{-}	$4{,}2 \cdot 10^{-3}$	2,38
$HC_6H_6O_6^{-}$ (HAz^{-})	$1{,}8 \cdot 10^{-12}$	11,75	$C_6H_6O_6^{2-}$ (Az^{2-})	$5{,}6 \cdot 10^{-3}$	2,25
HPO_4^{2-}	$4{,}8 \cdot 10^{-13}$	12,32	PO_4^{3-}	$2{,}1 \cdot 10^{-2}$	1,68
H_2O			OH^{-}		
HS^{-}	$\ll 10^{-14}$	> 14	S^{2-}	$\gg 1$	< 0
CH_3-CH_2OH	$\ll 10^{-14}$	> 14	$CH_3-CH_2O^{-}$	$\gg 1$	< 0
H_2	$\ll 10^{-14}$	> 14	H^{-}	$\gg 1$	< 0
NH_3	$\ll 10^{-14}$	> 14	NH_2^{-}	$\gg 1$	< 0
OH^{-}	$\ll 10^{-14}$	> 14	O^{2-}	$\gg 1$	< 0

50 Ionisatieconstanten van zuivere vloeistoffen

A Water bij verschillende temperaturen

	temperatuur in K	*waterconstante* K_w	pK_w
water (oxidaan)	273	$0{,}11 \cdot 10^{-14}$	14,94
	288	$0{,}45 \cdot 10^{-14}$	14,35
	293	$0{,}68 \cdot 10^{-14}$	14,17
	298	$1{,}0 \cdot 10^{-14}$	14,00
	303	$1{,}5 \cdot 10^{-14}$	13,83
	323	$5{,}5 \cdot 10^{-14}$	13,26
	373	$5{,}1 \cdot 10^{-13}$	12,29

B Andere vloeistoffen

	temperatuur in K	*ionisatieconstante* K_{solv}	pK_{solv}
zwavelzuur	298	$2 \cdot 10^{-4}$	3,7
methaanzuur (mierenzuur)	298	$6 \cdot 10^{-7}$	6,2
ethaanzuur (azijnzuur)	298	$1 \cdot 10^{-13}$	13,0
methanol	298	$2 \cdot 10^{-17}$	16,7
ethanol (alcohol)	298	$3 \cdot 10^{-20}$	19,5
ammoniak (azaan)	240	10^{-33}	33

■ Vaak wordt nog de term autoprotolyseconstante in plaats van ionisatieconstante gebruikt.

berekend met behulp van de formules van tabel 37C

			T = 298 K		T = 500 K		T = 750 K		T = 1000 K	
			log K	K	log K	K	log K	K	log K	K
H_2(g) + Cl_2(g)	⇌	2 HCl(g)	+33,38	$2{,}4 \cdot 10^{33}$	+20,32	$2{,}1 \cdot 10^{20}$	+13,89	$7{,}8 \cdot 10^{13}$	+10,68	$4{,}7 \cdot 10^{10}$
H_2(g) + I_2(g)	⇌	2 HI(g)	+2,94	$8{,}7 \cdot 10^{2}$	+2,21	$1{,}6 \cdot 10^{2}$	+1,85	$7{,}0 \cdot 10^{1}$	+1,66	$4{,}6 \cdot 10^{1}$
2 H_2(g) + O_2(g)	⇌	2 H_2O(g)	+80,10	$1{,}3 \cdot 10^{80}$	+45,89	$7{,}8 \cdot 10^{45}$	+29,05	$1{,}1 \cdot 10^{29}$	+20,63	$4{,}3 \cdot 10^{20}$
N_2(g) + 3 H_2(g)	⇌	2 NH_3(g)	+5,83	$6{,}8 \cdot 10^{5}$	−0,70	$2{,}0 \cdot 10^{-1}$	−3,92	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	−5,53	$3{,}0 \cdot 10^{-6}$
N_2(g) + O_2(g)	⇌	2 NO(g)	−30,73	$4{,}2 \cdot 10^{-31}$	−17,59	$2{,}6 \cdot 10^{-18}$	−11,30	$5{,}0 \cdot 10^{-12}$	−8,15	$7{,}1 \cdot 10^{-9}$
2 NO(g) + O_2(g)	⇌	2 NO_2(g)	+12,21	$1{,}6 \cdot 10^{12}$	+4,22	$1{,}6 \cdot 10^{4}$	+0,28	1,9	−1,69	$2{,}0 \cdot 10^{-2}$
2 NO_2(g)	⇌	N_2O_4(g)	+0,95	8,9	−3,16	$6{,}9 \cdot 10^{-4}$	−5,18	$6{,}6 \cdot 10^{-6}$	−6,19	$6{,}5 \cdot 10^{-7}$
NH_3(g) + HCl(g)	⇌	NH_4Cl(s)	+16,13	$1{,}4 \cdot 10^{16}$	+3,62	$4{,}2 \cdot 10^{3}$	−2,54	$2{,}9 \cdot 10^{-3}$	−5,62	$2{,}4 \cdot 10^{-6}$
2 SO_2(g) + O_2(g)	⇌	2 SO_3(g)	+24,53	$3{,}4 \cdot 10^{24}$	+10,63	$4{,}3 \cdot 10^{10}$	+3,79	$6{,}2 \cdot 10^{3}$	+0,36	2,3
C(s) + CO_2(g)	⇌	2 CO(g)	−21,00	$1{,}0 \cdot 10^{-21}$	−8,80	$1{,}6 \cdot 10^{-9}$	−2,79	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	+0,21	1,6
CO(g) + H_2O(g)	⇌	CO_2(g) + H_2(g)	+5,00	$9{,}9 \cdot 10^{4}$	+2,08	$1{,}2 \cdot 10^{2}$	+0,65	4,5	−0,065	$8{,}6 \cdot 10^{-1}$
$CaCO_3$(s)	⇌	CaO(s) + CO_2(g)	−22,60	$2{,}6 \cdot 10^{-23}$	−10,00	$9{,}9 \cdot 10^{-11}$	−3,81	$1{,}6 \cdot 10^{-4}$	−0,71	$2{,}0 \cdot 10^{-1}$
2 HgO(s)	⇌	2 Hg(l) + O_2(g)	−20,51	$3{,}1 \cdot 10^{-21}$	−7,68	$2{,}1 \cdot 10^{-8}$	−1,36	$4{,}4 \cdot 10^{-2}$	+1,80	$6{,}3 \cdot 10^{1}$
3 O_2(g)	⇌	2 O_3(g)	−57,20	$6{,}4 \cdot 10^{-58}$	−37,02	$9{,}5 \cdot 10^{-38}$	−27,11	$7{,}7 \cdot 10^{-28}$	−22,16	$6{,}9 \cdot 10^{-23}$

Voor gasevenwicht: $m\,\mathrm{A} + n\,\mathrm{B} \rightleftharpoons q\,\mathrm{C} + r\,\mathrm{D}$ geldt:

$$K_p = K'_p p_\mathrm{R}^{(q+r-m-n)} \text{ met } K'_p = \frac{p'^{q}_\mathrm{C}\, p'^{r}_\mathrm{D}}{p'^{m}_\mathrm{A}\, p'^{n}_\mathrm{B}}$$

Hierin is K_p de drukevenwichtsconstante en $p'_\mathrm{X} = \frac{p_\mathrm{X}}{p_\mathrm{R}}$ (X = A, B, C of D)

met p_X als de *partiële* evenwichtsdruk van gas X, in de regel in bar
en p_R als een referentiedruk, in de regel 1 bar.

De gegevens in deze tabel zijn berekend volgens: $R \ln K = \Delta S^0 - \frac{\Delta H^0}{T}$

Hierin is de thermodynamische evenwichtsconstante K in goede benadering gelijk aan K'_p
en als men p_X in bar uitdrukt en voor p_R 1 bar neemt, zijn de waarden van K_p en K dus aan elkaar gelijk.

Indicatoren

A Zuur-base-indicatoren

	kleur bij lagere pH-*waarden*	*omslagtraject in* pH *bij* 298 K	*kleur bij hogere* pH-*waarden*
hematoxyline	rood	0,0 – 1,0	geel
kresolrood [1]	rood	0,0 – 1,0	geel
kristalviolet	geel	0,0 – 1,8	blauw
thymolblauw [1]	rood	1,2 – 2,8	geel
dimethylgeel	rood	2,9 – 4,0	geel
congorood	violet	3,0 – 5,0	oranjerood
methyloranje	rood	3,2 – 4,4	oranjegeel
broomkresolgroen	geel	3,8 – 5,4	blauw
methylrood	rood	4,8 – 6,0	geel
broomfenolrood	geel	5,2 – 6,8	paarsrood
lakmoes [2]	rood	5,5 – 8,0	blauw
broomthymolblauw	geel	6,0 – 7,6	blauw
fenolrood	geel	6,6 – 8,0	rood
neutraalrood	rood	6,8 – 8,0	oranjegeel
kresolrood [1]	geel	7,0 – 8,8	rood
thymolblauw [1]	geel	8,0 – 9,6	blauw
fenolftaleïne	kleurloos	8,2 –10,0	paarsrood [3]
thymolftaleïne	kleurloos	9,4 –10,6	blauw
alizariengeel-R	lichtgeel	10,1 –12,0	rood
1,3,5-trinitrobenzeen	kleurloos	12,0 –14,0	oranje

1 ▶ twee omslagtrajecten

2 ▶ vaag omslagtraject

3 ▶ In sterk basisch milieu (pH > 13,0) ontkleurt fenolftaleïen na korte tijd.

B Redoxindicatoren

	kleur van de gereduceerde vorm	*kleur van de geoxideerde vorm*	*milieu*	*overgangs-potentiaal in* V
nitrofenantroline-ijzer(II)complex (nitroferroïne)	rood	lichtblauw	1 M H_2SO_4 opl.	1,25
porfyrindine-leucoporfyrindine	blauw	kleurloos	pH = 0,0	1,20
o-fenantroline-ijzer(II)complex (ferroïne)	rood	lichtblauw	1 M H_2SO_4 opl.	1,08
difenylaminesulfonzuur	kleurloos	roodviolet	verdund zuur	0,87
difenylamine	kleurloos	roodviolet	verdund zuur	0,76
methyleenblauw	kleurloos	blauw	1 M zuur	0,53
fenosafranine	kleurloos	rood	1 M zuur	0,28
methylrood (niet omkeerbaar)	rood	kleurloos-lichtgeel		
methyloranje (niet omkeerbaar)	rood	kleurloos-lichtgeel		
erioglaucine (niet omkeerbaar)	groen	rood		
neutraalrood	kleurloos	rood		–0,32
thionine	kleurloos	violet		0,06

Bindingslengten A

bindingslengte in 10^{-12} m

H−H	74
F−F	141
Cl−Cl	199
Br−Br	228
I−I	267
O−O(H_2O_2)	148
O$\overset{\cdots}{-}$O (O_3)	128
O=O	121
N−N(N_2H_4)	145
N≡N	113
C−C	153
C$\overset{\cdots}{-}$C (benzeen)	140
C=C	134
C≡C	120

H−F	92
H−Cl	127
H−Br	141
H−I	161
H−O	96
H−S	134
N−H	101
P−H	142
C−H	108
Si−H	148
C−F	139
C−Cl	179
C−Br	194
C−I	213

C−O	142
C−O (HCOOH)	136
C$\overset{\cdots}{-}$O (CO_3^{2-})	131
C$\overset{\cdots}{-}$O ($HCOO^-$)	125
C=O (HCOOH)	121
C=O (aldehyde, keton)	121
C=O(CO_2)	116
C≡O (CO)	113
C−N	146
C$\overset{\cdots}{-}$N (benzeenamine)	135
C=N	121
C≡N	116
N$\overset{\cdots}{-}$O (NO_2)	119
N=O (NO)	115
S$\overset{\cdots}{-}$O (SO_2)	143

Bindingshoeken B

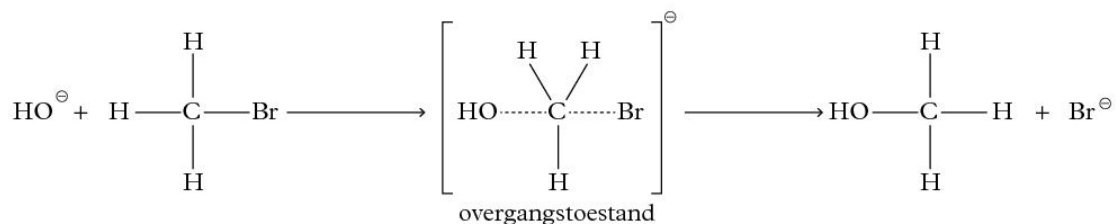
bindingshoek in graden

molecuul of ion	*hoek*	*grootte*
CH_4	HCH	109,5
CH_3Cl	HCH	110,8
CH_2Cl_2	HCH	111,5
idem	ClCCl	112,0
$CHCl_3$	ClCCl	111,3
CCl_4	ClCCl	109,5
NH_3	HNH	106,7
PH_3	HPH	93,3
H_2O	HOH	104,5
H_2S	HSH	92,1
SO_2	OSO	119,3
O_3	OOO	117,5
ClO_3^-	OClO	106,7

molecuul of ion	*hoek*	*grootte*
ClO_2^-	OClO	110,5
SO_3	OSO	120
CO_2	OCO	180
CO_3^{2-}	OCO	120
NO_3^-	ONO	120
NO_2^-	ONO	115
C_2H_4	HCH	117
C_2H_2	HCC	180
C_6H_6	CCC	120
idem	CCH	120
$H_3C−O−CH_3$	COC	114
H_2CO	HCH	117

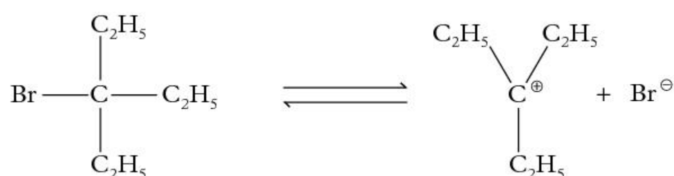
54 Reactiemechanismen

A Nucleofiele substitutie volgens S_N2

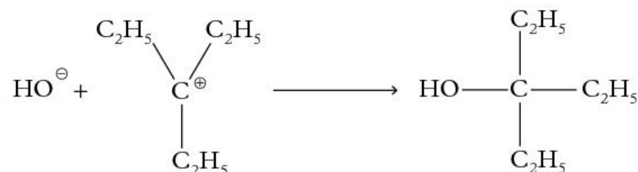


B Nucleofiele substitutie volgens S_N1

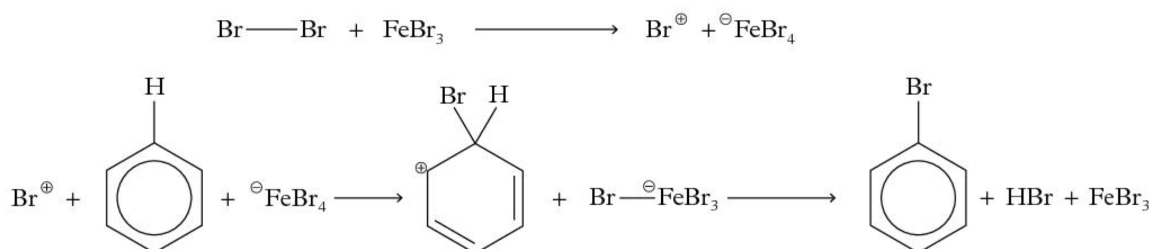
Stap 1



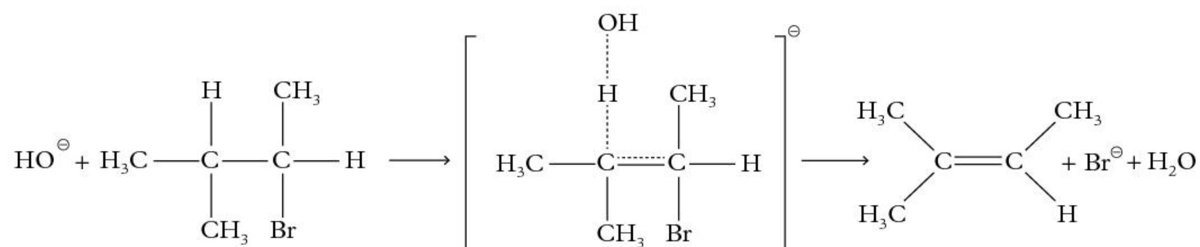
Stap 2



C Elektrofiele aromatische substitutie S_EAr (Friedel-Crafts bromering)

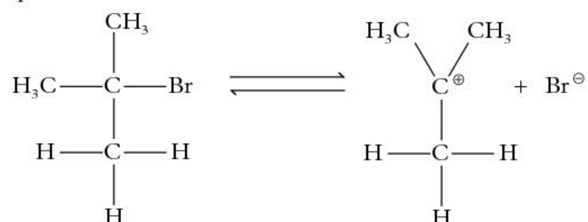


D Eliminatiereactie volgens E2

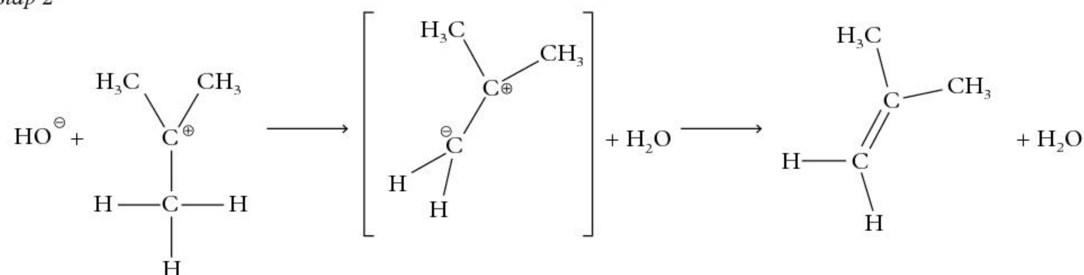


Eliminatiereactie volgens E1 — E

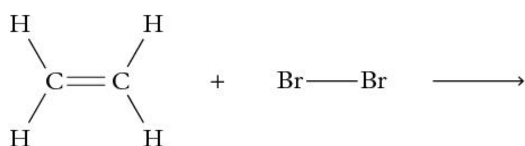
Stap 1

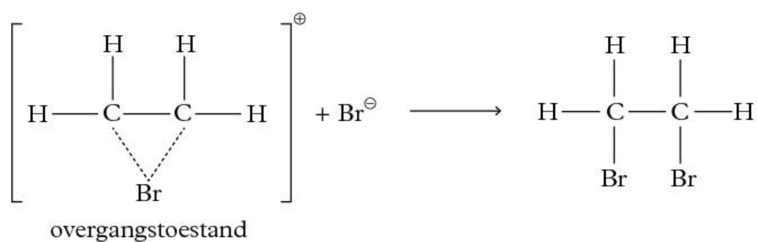


Stap 2



Elektrofiele additie — F





55 Dipoolmomenten

A Anorganische stoffen

dipoolmoment in 10^{-30} C m

AsH_3	0,72	HCl	3,7	NH_3	4,9	PH_3	1,9
CO	0,37	HF	6,1	NO	0,53	SO_2	5,4
CO_2	0	HI	1,5	NO_2	1,1	SO_3	0
CS_2	0	H_2O	6,2	N_2O	0,54	SbH_3	0,40
HBr	2,8	H_2O_2	5,2	O_3	1,8	SiH_4	0
HCN	10	H_2S	3,3	PCl_3	1,9		

B Organische stoffen

dipoolmoment in 10^{-30} C m

methaan	0
ethaan	0
andere alkanen	≈ 0
etheen	0
propeen	1,2
but-1-een	1,3
cis-but-2-een	0,84
trans-but-2-een	0
ethyn (acetyleen)	0
propyn	2,6
cyclopropaan	0
benzeen	0
tolueen [methylbenzeen]	1,3
ethylbenzeen	2,0
1,2-dimethylbenzeen	2,1
1,4-dimethylbenzeen	0
fluormethaan	6,2
chloormethaan	6,3
broommethaan	6,1
joodmethaan	5,5
dichloormethaan	5,3
trichloormethaan	3,5
tetrachloormethaan	0
chloorethaan	6,8
1,1-dichloorethaan	6,9
1,2-dichloorethaan	4,0
cis-1,2-dichlooretheen	6,3
trans-1,2-dichlooretheen	0
chloorbenzeen	5,6
1,2-dichloorbenzeen	8,3
1,3-dichloorbenzeen	5,7
1,4-dichloorbenzeen	0
methanol	5,7
ethanol (alcohol)	5,6
propaan-1-ol	5,2
propaan-2-ol	5,3
fenol [benzenol]	4,1
methoxymethaan	4,3
ethoxyethaan (ether)	3,7
methanal	7,8
ethanal	9,2
propanal	9,1
propanon	9,6
methaanzuur (mierenzuur)	4,8
ethaanzuur (azijnzuur)	5,7
methaanamine [methylazaan]	4,4
ethaanamine [ethylazaan]	4,1

verbrandingswarmte in 10^5 J mol^{-1} bij T = 298 K en $p = p_0$, het gevormde water komt vrij als vloeistof

methaan(g)	–8,90	methanal(g)	–5,50
ethaan(g)	–15,59	ethanal(g)	–11,66
propaan(g)	–22,19	methoxymethaan(g)	–14,53
butaan(g) (*n*-butaan)	–28,75	ethoxyethaan(l) (ether)	–27,25
2-methylpropaan(g) (isobutaan)	–28,67	methaanzuur(l) (mierenzuur)	–2,70
cyclopropaan(g)	–20,77	ethaanzuur(l) (azijnzuur)	–8,72
etheen(g)	–14,10	propaanzuur(l) (propionzuur)	–15,75
propeen(g)	–20,57	ethaandizuur(s) (oxaalzuur)	–2,46
but-1-een(g)	–27,15	fumaarzuur(s)	–13,39
cis-but-2-een(g)	–27,08	melkzuur(s)	–13,64
trans-but-2-een(g)	–27,00	citroenzuur(s)	–19,85
buta-1,3-dieen(g)	–25,40	alanine(s)	–16,22
benzeen(l)	–32,70	ureum(s)	–6,34
tolueen(l) [methylbenzeen]	–39,07	ribose(s)	–23,49
ethyn(g) (acetyleen)	–12,99	glucose(s)	–28,16
propyn(g)	–19,37	galactose(s)	–28,06
methanol(l)	–7,26	maltose(s)	–56,49
ethanol(l) (alcohol)	–13,66	sacharose(s)	–56,47
propaan-1,2,3-triol(l) (glycerol)	–16,61		

■ Warmte betekent hier opgenomen (positief) of afgestane (negatief) energie bij constante omgevingsdruk.

■ Stookwaarden: zie tabel 28B.

57 Vormingswarmten

A Anorganische stoffen

vormingswarmte in 10^5 J mol^{-1} bij T = 298 K en $p = p_0$

AgBr(s)	−1,00
AgCl(s)	−1,27
AgF(s)	−2,05
AgI(s)	−0,618
Ag_2O(s)	−0,311
$AlCl_3$(s)	−7,04
Al_2O_3(s)	−16,76
$BaBr_2$(s)	−7,57
$BaCl_2$(s)	−8,55
$BaCO_3$(s)	−12,13
BaI_2(s)	−6,02
BaO(s)	−5,48
$Ba(OH)_2$(s)	−9,45
$BaSO_4$(s)	−14,73
C(s) diamant	+0,019
$CaBr_2$(s)	−6,83
$CaCl_2$(s)	−7,95
$CaCO_3$(s)	−12,08
CaI_2(s)	−5,34
CaO(s)	−6,35
$Ca(OH)_2$(s)	−9,85
$CaSO_4$(s)	−14,35
CO(g)	−1,105
CO_2(g)	−3,935
CS_2(l)	+0,890
CuO(s)	−1,57
CuS(s)	−0,531
$CuSO_4$(s)	−7,71
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$(s)	−22,78
$FeCl_2$(s)	−3,42
$FeCl_3$(s)	−4,00
FeO(s)	−2,72
Fe_2O_3(s)	−8,24
HBr(g)	−0,363
HCl(g)	−0,923
HF(g)	−2,73
HI(g)	+0,265
HNO_3(l)	−1,74
H_2O(l)	−2,86
H_2O(g)	−2,42
H_2O_2(l)	−1,88
H_2S(g)	−0,206
H_2SO_4(l)	−8,14
KBr(s)	−3,94
KCl(s)	−4,37
$KClO_3$(s)	−3,98
KF(s)	−5,67
K_2O(s)	−3,62
KOH(s)	−4,25
KI(s)	−3,28
LiBr(s)	−3,51
LiCl(s)	−4,09
LiF(s)	−6,16
Li_2O(s)	−5,98
LiI(s)	−2,70
$MgBr_2$(s)	−5,24
$MgCl_2$(s)	−6,41
$MgCO_3$(s)	−10,96
MgO(s)	−6,02
MgI_2(s)	−3,64
$MgSO_4$(s)	−12,85
NaBr(s)	−3,61
NaCl(s)	−4,11
Na_2CO_3(s)	−11,31
NaF(s)	−5,77
NaI(s)	−2,88
Na_2O(s)	−4,14
NaOH(s)	−4,26
Na_2SO_4(s)	−13,87
NH_3(g)	−0,459
NH_4Cl(s)	−3,14
NH_4NO_3(s)	−3,66
NO(g)	+0,913
NO_2(g)	+0,332
N_2O(g)	+0,816
N_2O_4(g)	+0,111
O_3(g)	+1,43
P_x(s) rood	−0,18
PCl_3(l)	−3,20
PCl_5(s)	−4,44
$PbCl_2$(s)	−3,59
PbO(s)	−2,19
PbO_2(s)	−2,77
SiO_2(s)	−9,11
$SnCl_2$(s)	−3,25
$SnCl_4$(l)	−5,11
SO_2(g)	−2,97
SO_3(g)	−3,96
$ZnCl_2$(s)	−4,15
ZnO(s)	−3,51
ZnS(s, wurtziet)	−1,93
ZnS(s, sphaleriet)	−2,06

- Bij koolstof wordt grafiet, bij fosfor witte fosfor en bij zwavel rombische zwavel als uitgangsstof genomen.
- Warmte betekent hier opgenomen (positief) of afgestane (negatief) energie bij constante omgevingsdruk.

Vormingswarmten 57

Organische stoffen B

vormingswarmte in 10^5 J mol^{-1} bij $T = 298$ K en $p = p_0$

methaan(g)	–0,75	methanol(l)	–2,39
ethaan(g)	–0,84	ethanol(l)	–2,78
propaan(g)	–1,04	methanal(g)	–1,09
butaan(g) (*n*–butaan)	–1,26	ethanal(g)	–1,92
2-methylpropaan(g) (isobutaan)	–1,34	methoxymethaan(g)	–1,84
cyclopropaan(g)	+0,53	ethoxyethaan(l) (ether)	–2,80
etheen(g)	+0,52	methaanzuur(l) (mierenzuur)	–4,25
propeen(g)	+0,20	ethaanzuur(l) (azijnzuur)	–4,84
but-1-een(g)	+0,01	methaanamine(g) [methylazaan]	–0,23
cis-but-2-een(g)	–0,07	ethaanamine(g) [ethylazaan]	–0,48
trans-but-2-een(g)	–0,11	chloormethaan(g)	–0,82
buta-1,3-dieen(g)	+1,10	broommethaan(g)	–0,35
benzeen(l)	+0,49	joodmethaan(l)	–0,14
tolueen(l) [methylbenzeen]	+0,12	dichloormethaan(l)	–1,24
ethyn(g) (acetyleen)	+2,27	trichloormethaan(l) (chloroform)	–1,34
propyn(g)	+1,85	tetrachloormethaan(l) (tetra)	–1,28

■ Bij koolstof wordt grafiet als uitgangsstof genomen.

■ Warmte betekent hier opgenomen (positief) of afgestane (negatief) energie bij constante omgevingsdruk.

Bindingsenergieën 58

bindingsenergie in 10^5 J mol^{-1} bij $T = 298$ K; de opgegeven waarden gelden per mol binding

H–H	–4,36	H···O (H-brug)	–0,22 [1]	C–F	–4,4 [1]	C–H (aldehyde)	–3,6 [1]
F–F	–1,53	H–O (H_2O)	–4,635	C–Cl	–3,3 [1]	C–H (overige)	–4,1 [1]
Cl–Cl	–2,43	H–O (alcohol)	–4,5 [1]	C–Br	–2,8 [1]	C–C	–3,5 [1]
Br–Br	–1,93	H–S (H_2S)	–3,44	C–I	–2,4 [1]	C=C	–6,1 [1]
I–I	–1,51	H–Se (H_2Se)	–2,77	C≐O (fenol)	–3,7	C≡C	–8,3 [1]
O=O	–4,98	H–Te (H_2Te)	–2,44	C=O (CO_2)	–8,04	C≐C (benzeen)	–5,05
O–O (H_2O_2)	–2,13	N–H (NH_3)	–3,91	C=O (overige)	–8,0 [1]	C–Si	–3,0 [1]
S–S	–2,64	N–H (amine)	–3,9 [1]	C–O	–3,5 [1]		
N≡N	–9,45	P–H (PH_3)	–3,22	C–S	–2,6 [1]		
N–N	–0,85	As–H (AsH_3)	–2,45	C–N	–2,8 [1]		
H–F	–5,63	P–Cl (PCl_3)	–3,32	C≐N (benzeen-amine)	–4,5		
H–Cl	–4,32	P–Br (PBr_3)	–2,78	C=N	–6,2 [1]		
H–Br	–3,66	P–I (PI_3)	–2,14	C≡N	–8,9 [1]		
H–I	–2,99						

1 ▶ gemiddelde waarde

59 Sublimatie- en verdampingswarmten

A Vaste stoffen

sublimatiewarmte in 10^5 J mol^{-1} bij $T = 298$ K en $p = p_0$

Li	+1,61	Mg	+1,49	Al	+3,24
Na	+1,08	Ca	+1,77	C (grafiet)	+7,15
K	+0,90	Ba	+1,75	I_2	+0,62
Rb	+0,82	Fe	+4,18	P_4 (wit)	+0,55
Cs	+0,78	Cu	+3,39	S_8	+0,93
Ag	+2,86	Pb	+1,96		
		Zn	+1,30		

■ Warmte betekent hier opgenomen (positief) of afgestane (negatief) energie bij constante omgevingsdruk.

B Vloeistoffen

verdampingswarmte in 10^5 J mol^{-1} bij $T = 298$ K en $p = p_0$

Hg	+0,61	H_2O	+0,44	$CH_3{-}CH_2OH$	+0,42
Br_2	+0,31	C_6H_6	+0,34	C_3H_6O (aceton)	+0,31
		CH_3OH	+0,37	$C_6H_5{-}CH_3$	+0,38

■ Warmte betekent hier opgenomen (positief) of afgestane (negatief) energie bij constante omgevingsdruk.

60 Roosterenergieën

roosterenergie in 10^5 J mol^{-1} bij $T = 298$ K

LiF	–10,4	RbF	–7,8	MgF_2	–29,3	Na_2O	–25,3
LiCl	–8,5	RbCl	–6,8	$MgCl_2$	–25,0	K_2O	–22,8
LiBr	–8,0	RbBr	–6,5	$MgBr_2$	–24,0	MgO	–38,4
LiI	–7,6	RbI	–6,2	MgI_2	–23,1	CaO	–34,5
NaF	–9,2	CsF	–7,4	CaF_2	–26,2	BaO	–31,0
NaCl	–7,8	CsCl	–6,5	$CaCl_2$	–22,3	ZnO	–40,2
NaBr	–7,4	CsBr	–6,3	$CaBr_2$	–21,3	FeO	–39,0
NaI	–7,0	CsI	–6,0	CaI_2	–20,6	Fe_2O_3	–150
KF	–8,2	AgF	–9,7	$BaCl_2$	–20,2	Al_2O_3	–153
KCl	–7,1	AgCl	–9,1				
KBr	–6,8	AgBr	–8,9				
KI	–6,4	AgI	–8,9				

■ Deze waarden zijn berekend volgens de born-habercyclus.

Hydratatie-energieën 61

hydratatie-energie in 10^5 J mol^{-1} bij T = 298 K

H^+	–10,8	Mg^{2+}	–18,9	Al^{3+}	–46,1	OH^-	–5,4
Li^+	–5,0	Ca^{2+}	–15,6	Fe^{3+}	–43,3	F^-	–5,2
Na^+	–3,9	Ba^{2+}	–12,7			Cl^-	–3,8
K^+	–3,1	Zn^{2+}	–20,1			Br^-	–3,5
Rb^+	–2,8	Cu^{2+}	–20,7			I^-	–3,1
Cs^+	–2,5	Fe^{2+}	–18,9				
Ag^+	–4,6						
NH_4^+	–2,8						

Ionisatie-energieën en elektronenaffiniteiten 62

Ionisatie-energieën A

E_i in 10^5 J mol^{-1}

H/H^+	+13,1	Mg/Mg^{2+}	+21,9	Al/Al^{3+}	+51,4
Li/Li^+	+5,2	Ca/Ca^{2+}	+17,4	Fe/Fe^{3+}	+52,8
Na/Na^+	+5,0	Ba/Ba^{2+}	+14,7		
K/K^+	+4,2	Zn/Zn^{2+}	+26,4		
Rb/Rb^+	+4,0	Cu/Cu^{2+}	+27,0		
Cs/Cs^+	+3,8	Fe/Fe^{2+}	+23,2		
Ag/Ag^+	+7,3				

Elektronenaffiniteiten B

E_{ea} in 10^5 J mol^{-1}

H/H^-	–0,73	OH/OH^-	–1,8	O/O^-	–1,4	O/O^{2-}	+6,5
F/F^-	–3,3	SH/SH^-	–2,2	S/S^-	–2,0	S/S^{2-}	+4,5
Cl/Cl^-	–3,5						
Br/Br^-	–3,2						
I/I^-	–3,0						

63 Absolute entropieën

A Elementen

absolute entropie in $J\,mol^{-1}\,K^{-1}$ bij $T = 298$ K en $p = p_0$

Ag(s)	43	Cu(s)	33	Na(s)	51
Al(s)	28	F_2(g)	203	N_2(g)	192
Ba(s)	63	Fe(s)	27	O_2(g)	205
Br_2(l)	152	H_2(g)	131	O_3(g)	239
C(s) (grafiet)	5,7	Hg(l)	76	P_4(s) (wit)	164
C(s) (diamant)	2,4	I_2(s)	116	S_8(s) (rombisch)	257
Ca(s)	42	K(s)	65	Zn(s)	42
Cl_2(g)	223	Mg(s)	33		

B Anorganische stoffen

absolute entropie in $J\,mol^{-1}\,K^{-1}$ bij $T = 298$ K en $p = p_0$

AgBr(s)	107	CO(g)	198	$MgCO_3$(s)	66
AgCl(s)	96	CO_2(g)	214	NH_3(g)	193
AgI(s)	116	CuO(s)	43	N_2O(g)	220
$BaCl_2$(s)	124	Fe_2O_3(s)	87	NO(g)	211
$BaCO_3$(s)	112	HBr(g)	199	NO_2(g)	240
BaO(s)	72	HCl(g)	187	N_2O_4(g)	304
$BaSO_4$(s)	132	HI(g)	207	SiO_2(s)	42
$CaCl_2$(s)	108	H_2O(l)	70	SO_2(g)	248
$CaCO_3$(s)	92	H_2O(g)	189	SO_3(g)	257
CaO(s)	38	H_2O_2(l)	110	ZnO(s)	44
$Ca(OH)_2$(s)	83	H_2S(g)	206	ZnS(s)	58
		KCl(s)	83		

C Organische stoffen

absolute entropie in $J\,mol^{-1}\,K^{-1}$ bij $T = 298$ K en $p = p_0$

methaan(g)	186	methanol(l)	127
ethaan(g)	229	ethanol(l) (alcohol)	161
propaan(g)	270	methanal(g)	219
butaan(g) (*n*-butaan)	310	methaanzuur(l) (mierenzuur)	129
etheen(g)	219	ethaanzuur(l) (azijnzuur)	160
propeen(g)	267	chloormethaan(g)	235
but-1-een(g)	306	broommethaan(g)	246
buta-1,3-dieen(g)	279	joodmethaan(l)	163
benzeen(l)	173	dichloormethaan(l)	178
ethyn(g) (acetyleen)	201	trichloormethaan(l) (chloroform)	202
propyn(g)	248	tetrachloormethaan(l) (tetra)	216

Chemie en milieu 64

Gemiddelde samenstelling van onvervuild zeewater A

voornaamste bestanddelen	g L^{-1}	*% droge massa*	*voornaamste bestanddelen*	g L^{-1}	*% droge massa*
boorzuur	0,027	0,075	magnesiumionen	1,304	3,689
bromide-ionen	0,067	0,189	natriumionen	10,820	30,613
calciumionen	0,410	1,160	strontiumionen	0,013	0,038
chloride-ionen	19,455	55,044	sulfaationen	2,715	7,682
fluoride-ionen	0,001	0,003	waterstofcarbonaationen	0,144	0,406
kaliumionen	0,390	1,102	kwikionen	$30 \cdot 10^{-9}$	–

■ Aanwezig zijn sporen van: argon, aluminiumionen, jodide-ionen, kobaltionen, koolstof-14, loodionen, nikkelionen, radiumionen, ijzerionen en zinkionen.

Verbranding in lucht B

brandstof	*vrijkomende stoffen*								
	hoofdproducten		*producten bij onvolledige verbranding*		*luchtverontreinigende producten*				*andere verontreinigende producten*
	CO_2	H_2O	CO	roet	as	SO_2	NO	NO_2	
bruinkool, steenkool	•	•	•	•	•	•	•	•	diverse (w.o. zware metalen)
turf	•	•	•				•		polycyclische koolwaterstoffen
hout	•	•	•	•	•		•		
stookolie	•	•	•	•	•	•	•	•	(polycyclische) koolwaterstoffen, diverse (w.o. zware metalen)
gasolie	•	•	•	•		•	•	•	(polycyclische) koolwaterstoffen
benzine	•	•	•	•			•	•	
butagas, butaan aardgas, methaan	•	•	•				•	•	
alcohol	•	•	•				•		
ethyleen [etheen], acetyleen [ethyn]	•	•	•	•			•	•	
koolstofmono-oxide	•						•		

■ CO en roet ontstaan vooral bij een tekort aan lucht.

Eigenschappen van chemicaliën 65

Vlamkleuringen A

Vluchtige verbindingen (onder andere chloriden) kunnen een kleurloze vlam een karakteristieke kleur geven. De te onderzoeken stof wordt daartoe gemengd met geconcentreerd zoutzuur en op een platinadraad in de vlam gebracht. Men kan dan onderstaande vlamkleuringen waarnemen:

natrium	geel	calcium	steenrood	tin	blauw
kalium	zwak violet	barium	geelgroen	lood	zwak blauw
lithium	wijnrood	koper	groen	bismut	zwak blauwgrijs
strontium	wijnrood				

	wit	*licht-geel*	*geel*	*geel-groen*	*licht-groen*	*groen*	*oranje*	*rose*	*rood*	*bruin*	*blauw*	*donker-blauw*	*paars-violet*	*grijs-zwart*	*zwart*
$AgBr(s)$		■													
$Ag_2CrO_4(s)$									■						
$AgI(s)$			■												
$Ag_2O(s)$										■					
$Ag_3PO_4(s)$			■												
$BaCrO_4(s)$			■												
$Br_2(l)/Br_2(aq)$			■				■		■	■					
C(grafiet)															■
$Cl_2(g)/Cl_2(aq)$					■										
$Co^{2+}(aq)$								■							
$CoCl_2(s)$											■				
$CoCl_2 \cdot 6H_2O(s)$									■						
$Cr^{3+}(aq)$						■					■				
$CrCl_3 \cdot 6H_2O(s)$						■									
$Cr_2O_3(s)$						■									
$CrO_3(s)$									■						
$Cr(OH)_3(gel)$						■									
$CrO_4^{2-}(aq)$			■												
$Cr_2O_7^{2-}(aq)$							■								
$Cu(s)$									■						
$Cu^{2+}(aq)$											■				
$CuCl_4^{2-}$						■									
$Cu_2Fe(CN)_6(gel)$										■					
$Cu(NH_3)_4^{2+}(aq)$												■			
$Cu_2O(s)$									■						
$CuO(s)$															■
$Cu(OH)_2(gel)$											■				
$CuSO_4(s)$	■														
$CuSO_4 \cdot 5H_2O(s)$											■				
$F_2(g)$					■										
$Fe^{2+}(aq)$					■										
$Fe^{3+}(aq)$		■													
$Fe(CN)_6^{3-}(aq)$									■						
$Fe(CN)_6^{4-}(aq)$		■													
$FeCl_3 \cdot 6H_2O(s)$										■					
$FeNO^{2+}(aq)$										■					
$FeO(s)$															■
$Fe_2O_3(s)$										■					
$Fe_3O_4(s)$															■
$Fe(OH)_2(gel)$						■									
$Fe(OH)_3(gel)$										■					
$FeS(s)$															■
$Fe_2S_3(s)$				■											■
$FeSCN^{2+}(aq)$									■						

vervolg

	wit	*licht-geel*	*geel*	*geel-groen*	*licht-groen*	*groen*	*oranje*	*rose*	*rood*	*bruin*	*blauw*	*donker-blauw*	*paars-violet*	*grijs-zwart*	*zwart*
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$(s)						■									
HgI_2(s) ►1			■						■						
HgO(s) ►1			■						■						
HgS(s) ►1	■								■						■
I_2(s)														■	
I_2(g)													■		
I_2(in apolaire oplos-middelen) ►4										■			■		
I_3^-(aq)			■							■					
I_2-zetmeel(aq) ►2						■				■	■	■	■		■
K_2CrO_4(s)			■												
$K_2Cr_2O_7$(s)							■								
$K_3Fe(CN)_6$(s)									■						
$K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$(s)			■												
$KFeFe(CN)_6 \cdot H_2O$(s)												■			
$KMnO_4$(s)													■		
K_2MnO_4(s)						■									
MnO_2(s)										■					■
MnO_4^-(aq)													■		
MnO_4^{2-}(aq)						■									
NO_2(g)										■					
Ni^{2+}(aq)						■									
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$(s)						■									
$Ni(OH)_2$(gel)						■									
P_4 ►3	■	■													
P_x ►3									■				■		
$PbCrO_4$(s)			■												
PbI_2(s)			■												
PbO(s) ►1		■							■						
PbO_2(s)										■					
Pb_3O_4(s)									■						
PbS(s)															■
S_8(s)		■													
SnS(s)										■					

■ De hierboven vermelde kleuren zijn niet altijd objectief. Bepaalde kleuren worden door verschillende waarnemers wel eens verschillend geïnterpreteerd. Bovendien hangt de kleur van oplossingen af van de concentratie.

1 ► Deze stof kan in diverse modificaties met verschillende kleuren voorkomen.
2 ► De kleur hangt af van de samenstelling. Naarmate het I_2-gehalte toeneemt, wordt de kleur donkerder (van lichtblauw tot zwart).
3 ► Witte en gele fosfor zijn twee verschillende namen voor dezelfde stof, evenals rode en violette fosfor.
4 ► Indien de moleculen van het oplosmiddel een zuurstofatoom bevatten, lost I_2 op met een bruine kleur.

A Triviale namen

triviale naam	*rationele naam*
aardgas	methaan ▶[1]
accuzuur	zwavelzuur
aceetaldehyde	ethanal
acetaat	ethanoaat of zuurrest van ethaanzuur
aceton	propanon
acetonitril	ethaannitril
acetyleen	ethyn
acrylonitril	propeennitril
acrylzuur	propeenzuur
actieve kool	koolstof ▶[1]
adipinezuur	hexaandizuur
alanine	2-aminopropaanzuur
alcohol	ethanol
aluin	aluminiumkaliumbis(sulfaat) dodecahydraat ▶[5]; aluminiumkaliumsulfaat dodecahydraat ▶[6]
ammonia	oplossing van ammoniak in water
ammoniakale zilveroplossing	oplossing van diammine-zilver(1+)ionen
amylalcoholen	pentanolen
amylum	mengsel van amylose en amylopectine
aniline	benzeenamine
appelzuur	2-hydroxybutaandizuur
arachidonzuur	icosa-5,8,11,14-tetraeenzuur
asparagine	2-amino-3-carbamoyl-propaanzuur
asparaginezuur	2-aminobutaandizuur
azijnzuur	ethaanzuur
barietwater	oplossing van barium(bis) hydroxide in water ▶[5]; oplossing van bariumhydroxide in water ▶[6]
barnsteenzuur	butaandizuur
benzaldehyde	fenylmethanal
benzoëzuur	benzeencarbonzuur
benzol	benzeen
benzylalcohol	fenylmethanol
benzylamine	fenylmethaanamine
berlijnsblauw	kaliumijzer(III) hexacyanidoferraat(II) monohydraat
-bicarbonaat	-waterstofcarbonaat
-bichromaat	-dichromaat
bietsuiker	sacharose ▶[4]
-bisulfaat	-waterstofsulfaat
-bisulfiet	-waterstofsulfiet
bitterzout	magnesiumsulfaat-heptahydraat
blauwzuur	waterstofcyanide

triviale naam	*rationele naam*
boterzuur	butaanzuur
broomwater	oplossing van broom in water
broomwaterstof	waterstofbromide [bromaan]
bruinsteen	mangaandioxide ▶[5]; mangaan(IV)oxide ▶[6] ▶[1]
butagas	butaan ▶[1]
butyraat	butanoaat of zuurrest van butaanzuur
calciet	calciumcarbonaat ▶[1]
capronzuur	hexaanzuur
carbid	calciumacetylide ▶[1]
carbolzuur	fenol [benzenol]
carborundum	siliciumcarbide
caustische soda	natriumhydroxide
celstof	cellulose ▶[4]
CFK ▶[2]	chloorfluorkoolwaterstof
chilisalpeter	natriumnitraat ▶[1]
chloorkalk	calciumchloridehypochloriet
chloorwater	oplossing van chloor in water
chloorwaterstof	waterstofchloride [chloraan]
chloroform	trichloormethaan
chroomaluin	chroomkaliumbis(sulfaat) dodecahydraat ▶[5]; chroom(III) kaliumsulfaatdodecahydraat ▶[6]
citroenzuur	2-hydroxypropaan-1,2,3-tricarbonzuur
cupri-	koper(2+)
cupro	koper(1+)
cyaankali	kaliumcyanide
cysteïne	2-amino-3-sulfanyl-propaanzuur
druivensuiker, dextrose	glucose ▶[4]
druivenzuur	racemisch mengsel van (+)- en (–)-2,3-dihydroxybutaandizuur
dubbelkoolzure soda	natriumwaterstof-carbonaat
ether	ethoxyethaan
ethylalcohol	ethanol
ethylchloride	chloorethaan
ethyleen	etheen
ethyleenglycol	ethaan-1,2-diol
fenol	benzenol
fenylalanine	2-amino-3-fenylpropaanzuur
ferri-	ijzer(3+)
ferro-	ijzer(2+)
fluoriet	calciumdifluoride ▶[5]; calciumfluoride ▶[6] ▶[1]
fluorwaterstof	waterstoffluoride [fluoraan]
formaldehyde	methanal
formaline, formol	oplossing van methanal

vervolg ▶

triviale naam	*rationele naam*
formiaat	methanoaat of zuurrest van methaanzuur
freon-12	dichloordifluormethaan
fructose	1,3,4,5,6-pentahydroxy-hexaan-2-on [▶4]
fumaarzuur	*trans*-buteendizuur
gebluste kalk	calciumbis(hydroxide) [▶5]; calciumhydroxide [▶6] [▶1]
geel bloed-loogzout	kaliumhexacyanidoferraat(II)-trihydraat
gips	calciumsulfaatdihydraat
glauberzout	dinatriumsulfaatdecahydraat [▶5]; natriumsulfaatdecahydraat [▶6]
glucose	2,3,4,5,6-pentahydroxy-hexanal [▶4]
glutaarzuur	pentaandizuur
glutamine	2-amino-4-carbamoyl-butaanzuur
glutaminezuur	2-aminopentaandizuur
glycerine	propaan-1,2,3-triol
glycerol	propaan-1,2,3-triol
glycine	aminoethaanzuur
glycol	ethaan-1,2-diol
halon	broomchloorfluorkoolwaterstof [▶3]
helse steen	zilvernitraat
houtgeest	methanol
hypo	dinatriumthiosulfaat-pentahydraat [▶5]; natriumthiosulfaat-pentahydraat [▶6]
ijsazijn	ethaanzuur
ijzerhamerslag	ijzer(2+)di-ijzer(3+)tetra-oxide [▶5]; ijzer(II)di-ijzer(III)oxide [▶6]
invertsuiker	mengsel van gelijke hoeveelheden fructose en glucose
isoamylalcohol	3-methyl-butaan-1-ol
isoboterzuur	2-methylpropaanzuur
isobutyl-	(2-methylpropyl)-
isoleucine	2-amino-3-methylpentaanzuur
isopreen	2-methyl-buta-1,3-dieen
isopropyl-	(1-methylethyl)-
jodium	jood
jodoform	trijoodmethaan
joodwaterstof	waterstofjodide [jodaan]
kali	kaliumchloride
kaliloog	oplossing van kalium-hydroxide in water
kaliumferri-cyanide	kaliumhexacyanidoferraat(III)
kaliumferro-cyanide	kaliumhexacyanidoferraat(II)
kalkspaat	calciumcarbonaat [▶1]

triviale naam	*rationele naam*
kalksteen	calciumcarbonaat [▶1]
kalkwater	oplossing van calciumbis (hydroxide) in water [▶5]; oplossing van calciumhydroxide in water [▶6]
kalomel	kwikchloride [▶5]; kwik(I)chloride [▶6]
keukenzout	natriumchloride
knalgas	mengsel van twee volumedelen waterstofgas en een volumedeel zuurstofgas
kolendamp	koolstofmono-oxide
koningswater	mengsel van geconcen-treerd salpeterzuur en geconcentreerd zoutzuur
koolzuurgas	koolstofdioxide
koolzuursneeuw	vast koolstofdioxide
kopervitriool	kopersulfaatpentahydraat [▶5]; koper(II)sulfaatpentahydraat [▶6]
kresol	methylfenol
kwarts	siliciumdioxide [▶1]
lachgas	distikstofmono-oxide
laurinezuur	dodecaanzuur
leucine	2-amino-4-methylpentaanzuur
linoleenzuur	octadeca-9,12,15-trieenzuur
linolzuur	octadeca-9,12-dieenzuur
lysine	2,6-diaminohexaanzuur
magnesia	magnesiumoxide [▶1]
magnetiet	ijzer(2+)di-ijzer(3+)tetra-oxide [▶5]; ijzer(II)di-ijzer(III)oxide [▶6]
maleïnezuur	*cis*-buteendizuur
malonzuur	propaandizuur
margarinezuur	heptadecaanzuur
marmer	calciumcarbonaat [▶1]
melksuiker	lactose [▶4]
melkzuur	2-hydroxypropaanzuur
menie	dilood(2+)lood(4+)tetra-oxide [▶5]; dilood(II)lood(IV)oxide [▶6]
mercuri-	kwik(2+)
mercuro-	kwik(1+)
methacrylzuur	2-methylpropeenzuur
methionine	2-amino-4-(methylsulfanyl)-butaanzuur
methylalcohol	methanol
methylchloride	chloormethaan
mierenzuur	methaanzuur
moerasgas	methaan [▶1]
Mohr's zout	diammoniumijzerbis(sulfaat) hexahydraat [▶5]; ammoniumijzer(II) sulfaathexahydraat [▶6]
mosterdgas	bis(2-chloorethyl)sulfide
moutsuiker	maltose [▶4]

vervolg ▶

66 Naamgeving chemische stoffen

A Triviale namen

triviale naam	*rationele naam*
mijngas	methaan ▶1
n-alkaan	alkaan met een niet-vertakte koolstofketen
natronloog	oplossing van natriumhydroxide in water
nitreerzuur	mengsel van geconcentreerd salpeterzuur en geconcentreerd zwavelzuur
nitreuze damp	mengsel van stikstofoxiden
oliezuur	*cis*-octadec-9-eenzuur
ongebluste kalk	calciumoxide ▶1
oxaalzuur	ethaandizuur
palmitinezuur	hexadecaanzuur
patina	*(zie kopergroen)*
petroleumether	mengsel van laag kokende alkanen
pikrinezuur	2,4,6-trinitrofenol
plumbi-	lood(4+)
plumbo-	lood(2+)
potas	dikaliumcarbonaat ▶5; kaliumcarbonaat ▶6
propionaat	propanoaat of zuurrest van propaanzuur
propionzuur	propaanzuur
pyrodruivenzuur	2-oxopropaanzuur
rattenkruit	diarseentrioxide
-rodanide	-thiocyanaat
ribose	2,3,4,5-tetrahydroxypentanal ▶4
rietsuiker	sacharose ▶4
rood bloedloogzout	kaliumhexacyanidoferraat(III)
salicylzuur	2-hydroxybenzeencarbonzuur
salmiak	ammoniumchloride
salpeter	kaliumnitraat
sebacinezuur	decaandizuur
seignettezout	Na,K-zout van 2,3-dihydroxybutaandizuur
serine	2-amino-3-hydroxypropaanzuur
silica	siliciumdioxide ▶1
soda	dinatriumcarbonaatdecahydraat ▶5; natriumcarbonaatdecahydraat ▶6
spiritus	ethanol ▶1
stanni-	tin(4+)
stanno-	tin(2+)
stearinezuur	octadecaanzuur
steenzout	natriumchloride ▶1
sterk water	ethanol ▶1 of methanal-oplossing
styreen	fenyletheen
sublimaat	kwikdichloride ▶5; kwik(II)chloride ▶6
sucrose, suiker	sacharose ▶4
teflon	polytetrafluoretheen
tetra	tetrachloormethaan
thio	dinatriumthiosulfaat-pentahydraat ▶5; natriumthiosulfaatpentahydraat ▶6
tolueen, toluol	methylbenzeen
threonine	2-amino-3-hydroxybutaanzuur
tri	trichlooretheen
ureum	diamide van koolzuur
valeriaanzuur	pentaanzuur
valeriaat	pentanoaat of zuurrest van pentaanzuur
valine	2-amino-3-methylbutaanzuur
vinylchloride	chlooretheen
vitriool	zwavelzuur
vlugzout	diammoniumcarbonaat ▶5; ammoniumcarbonaat ▶6
vruchtensuiker	fructose ▶4
waterglas	oplossing van dinatriumsilicaat ▶5; oplossing van natriumsilicaat ▶6
wijnsteenzuur	2,3-dihydroxybutaandizuur
xyleen, xylol	dimethylbenzeen
zand	siliciumdioxide ▶1
zetmeel	mengsel van amylose en amylopectine ▶4
zoutzuur	oplossing van waterstofchloride in water
zuiveringszout	natriumwaterstofcarbonaat
zwavelkoolstof	koolstofdisulfide
zwavelwaterstof	diwaterstofsulfide [sulfaan]
zwavelijzer	ijzersulfide ▶5; ijzer(II)sulfide ▶6

1 ▶ belangrijkste bestanddeel

2 ▶ Freonen (CFK's) worden vaak weergegeven met een code die uit twee of drie cijfers bestaat:
- het laatste van deze cijfers geeft het aantal fluoratomen in zo'n molecuul,
- het voorlaatste cijfer geeft het aantal waterstofatomen plus 1,
- bij een driecijferige code geeft het eerste cijfer het aantal koolstofatomen minus 1; als het eerste cijfer 0 is, dan wordt dat in de code niet vermeld.

3 ▶ Halonen worden vaak weergegeven met een code die uit vier cijfers bestaat (bijv. 1301):
- het eerste cijfer geeft het aantal koolstofatomen in zo'n molecuul,
- het tweede, derde en vierde cijfer stellen respectievelijk het aantal fluor-, chloor- en broomatomen voor.

4 ▶ Structuurformules (cyclovorm): zie tabel 67F.

5 ▶ Voorkeur IUPAC

6 ▶ Toegestaan volgens IUPAC

NH_3	ammoniak [azaan]	NH_4^+	ammonium [azanium]
H_2SO_4	zwavelzuur	H_3O^+	oxonium
H_2SO_3 ($SO_2 + H_2O$)	zwaveligzuur	SO_4^{2-}	sulfaat
H_2CO_3 ($CO_2 + H_2O$)	koolzuur	SO_3^{2-}	sulfiet
		HCO_3^-	waterstofcarbonaat
		CO_3^{2-}	carbonaat
		SiO_3^{2-}	silicaat
HNO_3	salpeterzuur	SiO_4^{4-}	silicaat
HNO_2 (NO_2+NO+H_2O)	salpeterigzuur	NO_3^-	nitraat
H_3PO_4	fosforzuur	NO_2^-	nitriet
		$H_2PO_4^-$	diwaterstoffosfaat
		HPO_4^{2-}	monowaterstoffosfaat
$H_2C_2O_4$	oxaalzuur	PO_4^{3-}	fosfaat
$HClO_4$	perchloorzuur	$C_2O_4^{2-}$	oxalaat
$HClO_3$	chloorzuur	ClO_4^-	perchloraat
$HClO_2$	chlorigzuur	ClO_3^-	chloraat
$HClO$	onderchlorigzuur	ClO_2^-	chloriet
		ClO^-	hypochloriet
H_2O_2	waterstofperoxide [dioxidaan]	OH^-	hydroxide
CH_4	methaan		
C_2H_6	ethaan	CrO_4^{2-}	chromaat
C_3H_8	propaan	$Cr_2O_7^{2-}$	dichromaat
C_4H_{10}	butaan	MnO_4^{2-}	manganaat
$C_3H_4O_3$	pyrodruivenzuur [2-oxopropaanzuur]	MnO_4^-	permanganaat
$C_3H_6O_3$	melkzuur [2-hydroxypropaanzuur]	$S_2O_3^{2-}$	thiosulfaat
$C_6H_{12}O_6$	glucose/druivensuiker/dextrose	CH_3COO^-	acetaat [ethanoaat]
$C_{12}H_{22}O_{11}$	rietsuiker/bietsuiker/sacharose		

66 Naamgeving chemische stoffen

C Numerieke voorvoegsels

factor	*naam*
1	mono- of hen- [1]
2	di- of do- [1]
3	tri-
4	tetra-
5	penta-
6	hexa-
7	hepta-
8	octa-
9	nona-

factor	*naam*
10	deca-
11	undeca-
12	dodeca-
13	trideca-
14	tetradeca-
15	pentadeca-
16	hexadeca-
17	heptadeca-
18	octadeca-
19	nonadeca-

factor	*naam*
20	icosa- [2]
30	triaconta-
40	tetraconta-
50	pentaconta-
60	hexaconta-
70	heptaconta-
80	octaconta-
90	nonaconta-

factor	*naam*
100	hecta-
200	dicta-
300	tricta-
400	tetracta-
500	pentacta-
1000	kilia-
2000	dilia-
3000	trilia-
4000	tetralia-
5000	pentalia-

1 ▶ In voorvoegsels groter dan 11 wordt het cijfer 1 weergegeven met hen- en het cijfer 2 met do-; bijv. henicosa-(21), dononacontahexacta-(692).

2 ▶ De beginletter 'i' van icosa- wordt weggelaten na een numerieke term, die op een klinker eindigt; bijv. docosa-(22), tricosa-(23).

D Enkele regels voor de systematische naamgeving van organische verbindingen

klasse	*karakteristieke groep*	*voorvoegsel*	*achtervoegsel* [1]
carbonzuren	−COOH	(carboxy-)	-zuur [3]
sulfonzuren	$-SO_3H$	(sulfo-)	-sulfonzuur
zuuranhydriden	−COOCO−		-zuuranhydride
esters	−COO−	(alkoxycarbonyl-)	-oaat [3]
zuurchloriden	−COCl	(chloorcarbonyl-)	-oylchloride
amiden	$-CONH_2$, −CONH−, −CON<	(carbamoyl-)	-amide
nitrillen	−CN	cyaan-	-nitril [3]
aldehyden	−CHO	oxo-	-al
ketonen	>CO	oxo-	-on
alcoholen	−OH	hydroxy-	-ol
fenolen	−OH	hydroxy-	-ol
thiolen	−SH	sulfanyl-	-thiol
aminen	$-NH_2$, −NH−, −N<	amino- *N*-alkylamino- *N*-alkyl-*N*-alkyl'amino-	-amine [4] *N*-alkyl… amine [4] *N*-alkyl-*N*-alkyl'… amine [4]
ethers	−O−	alkoxy-	*geen*
halogeen-verbindingen	−F, −Cl, −Br, −I	halogeen-	*geen*
nitroverbindingen	$-NO_2$	nitro-	*geen*

prioriteit ↑

vervolg ▶

1 ► De 'ruggengraat' van een koolstofverbinding is de stamverbinding gevormd door de langste keten van C-atomen. De stamnaam, gebaseerd op het aantal C-atomen in deze keten, bestaat uit stam + uitgang (zie tabel hieronder).

aantal C	1	2	3	4	5	6	…
stam	meth	eth	prop	but	pent	hex	…

uitgang	*koolstofverbinding heeft*
-aan	geen dubbele of drievoudige bindingen
-een	één dubbele binding (-adieen: twee dubbele bindingen)
-yn	één drievoudige binding (-adiyn: twee drievoudige bindingen)
-enyn	één dubbele en één drievoudige binding

– Een H-atoom van de stamverbinding/stamhydride (een niet vertakte keten van C- of andere atomen met het maximum aantal H-atomen eraan vast; het kan ook een alifatische of aromatische ring zijn) kan vervangen worden door een ander atoom of een atoomgroep: een substituent. Bevat de substituent minstens één heteroatoom (een niet-C- of niet-H-atoom) dan noemt men de substituent een karakteristieke groep. Een substituent zonder heteroatomen heet tak, met een taknaam die bestaat uit een stam (zie boven) + yl. Zie voorbeeld 1.
  Een tak kan vertakt zijn en bestaat dan uit een hoofdtak, de langste C-keten gezien vanuit de stam, met één of meer zijtakken. Zo'n vertakte tak zet men tussen haakjes. Zie voorbeeld 2.
  Als bij een koolstofverbinding de keten op meer manieren gekozen kan worden, kiest men als langste keten de keten met de meeste takken (dus met het kleinste aantal vertakte takken). Zie voorbeeld 3.
– Bij een koolstofverbinding met één soort karakteristieke groep wordt deze groep, indien mogelijk, als achtervoegsel aangeduid (tabel 66D); bevat deze 'achtervoegsel' groep een C-atoom, dan rekent men dat C-atoom bij de stam.
– Wanneer een molecuul verschillende karakteristieke groepen bevat, dan is de hoofdgroep de groep die het hoogst in de tabel staat. Deze wordt in de naam met een achtervoegsel aangegeven; de groepen met een lagere prioriteit worden als voorvoegsel aangeduid (ook de groepen die geen achtervoegselnaam hebben). Zie voorbeeld 1.
  De hoofdgroep krijgt een zo laag mogelijk plaatsnummer. Bij afwezigheid van een karakteristieke groep die in de naam met een achtervoegsel kan worden aangeduid, wordt een eventuele dubbele/drievoudige binding als hoofdgroep beschouwd. Zie voorbeeld 4.
– Bij een koolstofverbinding met meer karakteristieke groepen kiest men de stam zó dat zoveel mogelijk van deze groepen direct aan de stam vastzitten (ook als de ketenlengte daarbij korter wordt). Zie voorbeeld 3.
– Bij een koolstofverbinding met meer dubbele/drievoudige bindingen, soorten takken/voorvoegsels/karakteristieke groepen geeft men steeds het aantal ervan aan met een numeriek voorvoegsel (zie tabel 66C).
– Wanneer in de naam van een molecuul meer voorvoegsels/takken voorkomen, is de volgorde daarvan alfabetisch. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de numerieke voorvoegsels, uitgezonderd bij vertakte takken. ►2
– Als dubbele/drievoudige bindingen, voor-/achtervoegsels/takken meer plaatsingsmogelijkheden hebben, worden deze voorafgegaan door een plaatsnummer te beginnen bij een uiteinde van de stamverbinding. Een achtervoegsel heeft een zo laag mogelijk plaatsnummer. Zie voorbeeld 4.
  Bij ontbreken van een achtervoegsel of een uitgang wordt de hoofdketen (stamverbinding) vanaf die kant genummerd die het laagste stel plaatsnummers oplevert. Het laagste stel plaatsnummers is het stel dat het laagste nummer heeft, waar het eerste verschil in nummering optreedt, dus het stel plaatsnummers 2, 3, 6, 8 is lager dan het stel 3, 4, 6, 8 of 2, 4, 5, 7. Zie voorbeeld 4a.
  Bij -enynen krijgt '-een' het laagste plaatsnummer als de regel over het laagste stel plaatsnummers geen uitsluitsel geeft. Zie voorbeeld 4.
– Een koolstofverbinding die een derivaat is van benzeen, noemt men een aromatische verbinding. Andere koolstofverbindingen noemt men alifatische verbindingen. Een alifatische ringverbinding wordt met het prefix cyclo- aangeduid.
– In de stamnaam van heterocyclische ringsystemen beschouwt men de heteroatomen als vervangers van bepaalde koolstofatomen. De heteroatomen worden met de volgende voorvoegsels aangeduid (zie voorbeeld 5):

heteroatoom	O	S	N	P	Si
voorvoegsel	oxa	thia	aza	fosfa	sila

– Bij alkyl-gesubstitueerde aromatische verbindingen wordt het aromatisch gedeelte beschouwd als stamverbinding.
  Als karakteristieke groepen in de zijketen voorkomen dan wordt de zijketen de stamverbinding en krijgt benzeen de taknaam fenyl.
– Bij aromatische verbindingen is de triviale naam tolueen voor methylbenzeen toegestaan en heeft de triviale naam fenol voor benzenol de voorkeur.

2 ► De naam van een vertakte tak – tussen ronde haakjes – ziet men als een geheel. Daarom komt bijvoorbeeld (1,1-dimethylethyl) alfabetisch vóór ethyl (zie onderstreping). Zijtakken in vertakte takken worden voorafgegaan door plaatsnummers: het koolstofatoom dat direct aan de stam zit, heeft plaatsnummer 1.
Enkele vertakte takken hebben een veel gebruikte triviale naam. Zie voorbeeld 7. Voor hun alfabetische rangschikking worden de voorvoegsels ‘iso’ en ‘neo’ als een geheel gezien met de alkylnaam. Dus isopropyl vóór methyl. Dit geldt niet voor de voorvoegsels *‘sec-’* en *‘tert-’*. Dus *tert*-butyl vóór ethyl.

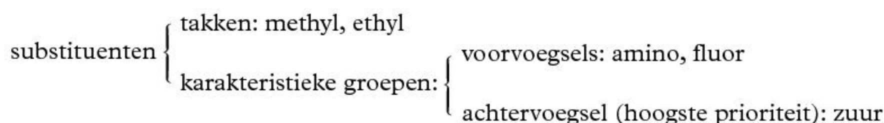
3 ► Wanneer een molecuul drie of meer –COOH groepen, –COO– groepen of –CN groepen heeft, of wanneer deze groepen zich bevinden aan een ringsysteem, dan worden de achtervoegsels -carbonzuur, -carboxylaat en -carbonitril gebruikt, waarbij C-atomen in deze karakteristieke groepen niet meer meegeteld worden in de stamnaam. Zie voorbeeld 6.

4 ► Aminen met eenvoudige alkylgroepen kunnen ook beschouwd worden als derivaten van ammoniak, bijv. $N(C_2H_5)_3$: triëthylamine in plaats van *N,N*-diëthylethaanamine.

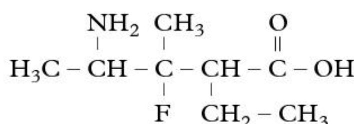
5 ► Een vollediger overzicht is te vinden in: *Gids voor de IUPAC-nomenclatuur van organische verbindingen*, uitgegeven door de KNCV en de KVCV, 2010.

Voorbeelden

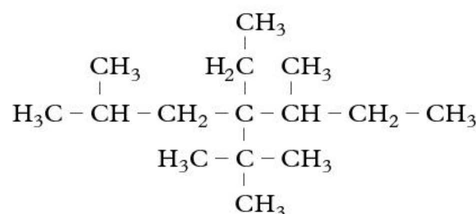
1 4-amino-2-ethyl-3-fluor-3-methylpentaanzuur



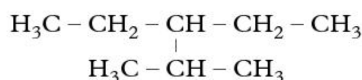
stam + uitgang: pentaan



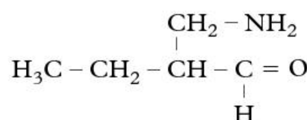
2 4-(1,1-dimethylethyl)-4-ethyl-2,5-dimethylheptaan [4-*tert*-butyl-4-ethyl-2,5-dimethylheptaan]



3 3-ethyl-2-methylpentaan
en niet: 3-(1-methylethyl)pentaan

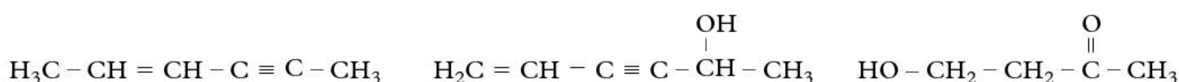


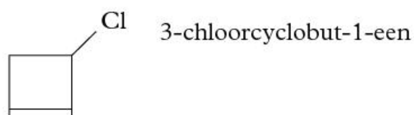
3-amino-2-ethylpropanal
en niet: 2-(1-aminomethyl)butanal



vervolg ►

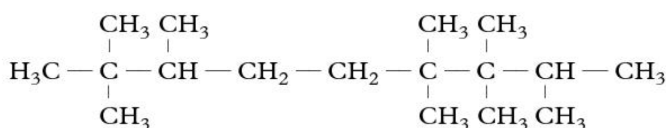
4 hex-2-een-4-yn — hex-5-een-3-yn-2-ol — 4-hydroxybutaan-2-on





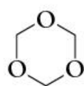
3-chloorcyclobut-1-een

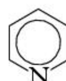
4a



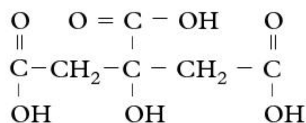
2,2,3,6,6,7,7,8-octamethylnonaan (het eerste verschil in plaatsnummers: 2 < 3)
En niet: 2,3,3,4,4,7,8,8-octamethylnonaan (kleinere som)

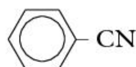
5 1,3,5-trioxacyclohexaan — azabenzeen (pyridine)





6 2-hydroxypropaan-1,2,3-tricarbonzuur — benzeencarbonitril





7 voorbeelden van vertakte takken

structuur	*systematische naam*	*triviale naam*
$H_3C-CH(CH_3)-CH_2-$	(2-methylpropyl)	isobutyl; iso = methyltak op een na laatste plaats
$H_3C-CH(CH_3)-$	(1-methylethyl)	isopropyl
$H_3C-CH_2-CH(CH_3)-$	(1-methylpropyl)	*sec*-butyl
$H_3C-C(CH_3)_2-$	(1,1-dimethylethyl)	*tert*-butyl
$H_3C-C(CH_3)_2-CH_2-$	(2,2-dimethylpropyl)	neopentyl

thermoharders (harsen,lijmen)	*ISO-code*
aldehydeharsen	PF,MF,UF
alkydharsen	
caseïneformaldehyde/kunsthoorn	CF
diallylftalaat	DAP
eboniet (hoge vulkanisatie)	
epoxyharsen	EP
fenolformaldehyde ▶1	PF
melanineformaldehyde	MF
methaandifenyldiisocyanaat	MDI
onverzadigde polyesters	UP/UPE
polyurethanen	PUR
polyvinylbutyraat	PVB
resorcinolformaldehyde	RF

synthetische rubbers	*ISO-code*
acrylonitril-butadieen-styreen-	ABS
butyl-	IIR
chloropreen-/neopreen-	CR
epichloorhydrin-	ECO
etheenpropeen-	EPR
nitrilbutadieen-	NBR
polybutadieen-	BR
polyetheen-, gesulfochloreerd	CSM
polyisopreen-	IR
polysulfide-	PSR
siliconen-	SI
styreenbutadieen-	SBR
thermoplastische -	TPE

natuurlijke materialen	
asbest	kurk
beenderlijm	leer
chitosan	linnen
gelatine	mastiek
glas	mica
hars	rubber/latex
hennep	schellak
hoorn	sisal
hout/cellulose	stro
ivoor	stijfsel
jute	veren
kapok	wol
katoen	zijde

thermoplasten half-synthetisch ▶2	*ISO-code*
carboxymethylcellulose	CMC
cellofaan	
celluloseacetaat	CA
celluloseacetaat-butyraat	CAB
celluloseacetaat-propionaat	CAP
cellulosenitraat (nitrocellulose/ celluloid)	CN
cellulosepropionaat	CP
ethylcellulose	EC
polymelkzuur	PLA
viscose/rayon	

1 ▶ onder andere bakeliet
2 ▶ macromoleculair skelet door natuur gegeven

geheel synthetisch	*ISO-code*
cumaron-indeen	
fenoxies	
ionomeren	bv. EMAC
polyacrylaten	bv. NaPAA
polyacrylonitril	PAN
polyamiden	PA
polybenzimidazolen	PBI
polybut-1-een	PB
polybutadieen	PBD
polycarbonaten	PC
polyesters	bv. PET
polyetheen (hoge/lage dichtheid)	(HD/LD)PE
polyfluor(chloor)ethenen	bv. PCTFE
polyimiden	PI
polyisobuteen	PIB
polymethylmethacrylaat (perspex/plexiglas)	PMMA
polyoxymethyleen	POM
polyparaxyleen	PPX
polypropeen	PP
polystyreen (en copolymeren)	PS (bv. SAN)
polysulfon	PSO, PSU
polyvinylacetaat	PVAC
polyvinylalcohol	PVAL
polyvinylcarbazol	PVK
polyvinylchloride	PVC
polyvinylideenchloride(fluoride)	PVDC(F)

■ Plastics zijn synthetische macromoleculaire stoffen die door plastische vormgeving hun materiaalfunctie verkrijgen.
– Thermoharders, vaak ook harsen genoemd, vertonen bij verwarmen geen smeltverschijnselen. Zij hebben dus geen vloeibare fase, maar ontleden bij verwarming door gehele of gedeeltelijke afbraak van het macromoleculair bouwsel. Men rekent ze tot de plastics omdat ze tijdens het vormgevingsproces nog plastisch konden vloeien.
– Elastomeren vertonen elastische eigenschappen.
– Thermoplasten kunnen bij verwarmen boven een bepaalde temperatuur, de glastemperatuur, op reversibele wijze verwekings- en smeltverschijnselen vertonen.

soort copolymeer	*voorbeeld nomenclatuur*	*voorbeeld structuur*
ongespecificeerd	poly (A-co-B)	
alternerend	poly (A-alt-B)	~A–B–A–B–A–B–A–B–A–B–A–B–A~
willekeurig (random)	poly (A-ran-B)	~A–A–B–A–B–B–A–A–A–B–B–A–B–B~
statistisch	poly (A-stat-B)	~A–A–B–A–B–B–A–A–A–B–A–A–A~
blok	polyA-blok-polyB	~A–A–A–A–A–A–A–B–B–B–B–B–B–B~
graft	polyA-graft-polyB	~A–A–A–A–A–A–A–A–A–A~

```
~A–A–A–A–A–A–A–A–A–A~
 |     |   |   |   |
 B     B   B   B   B
 |     |   |   |   |
 B     B   B   B   B
 |     |   |       |
 B     B   B       B
 |         |       |
 B         B       B
 |         |
 B         B
```

In deze tabel wordt de IUPAC-voorkeursbenaming ►[1] van de stoichiometrische- of samengestelde naam gegeven. Deze naam geeft alleen informatie over de samenstelling van een ion, molecuul of verbinding. Deze naam biedt meestal geen informatie over de structuur. ►[2]

Numerieke voorvoegsels te gebruiken bij de naamgeving van anorganische verbindingen:

aantal	*eenvoudig*	*complex*
1	mono	
2	di	bis
3	tri	tris
4	tetra	tetrakis
5	penta	pentakis
6	hexa	hexakis
7	hepta	heptakis

aantal	*eenvoudig*	*complex*
8	octa	octakis
9	nona	nonakis
10	deca	decakis
11	undeca	undecakis
12	dodeca	dodecakis
20	icosa	icosakis

Eénatomige entiteiten

- Moleculen bestaand uit één atoomsoort krijgen de elementnaam gecombineerd met het juiste eenvoudige numerieke voorvoegsel.
- Ionen worden benoemd door het toevoegen van de lading tussen haakjes.
- Voor (de meeste) negatieve ionen wordt de benaming 'ide' gebruikt achter de Latijnse naam van het element.

Voorbeelden van namen van éénatomige entiteiten:

formule	*naam*
O_2	dizuurstof
S_8	octazwavel
Na^+	natrium(1+)
Fe^{3+}	ijzer(3+)
H^-	hydride
D^-	deuteride
B^{3-}	boride
C^{4-}	carbide
N^{3-}	nitride
N_3^-	trinitride(1-) of azide
O^{2-}	oxide
O_2^-	dioxide(1-)

formule	*naam*
O_2^{2-}	dioxide(2-) of peroxide
Na^-	natride
P^{3-}	fosfide
S^{2-}	sulfide
Cl^-	chloride
As^{3-}	arsenide
Se^{2-}	selenide
Sn^-	stannide
Sb^{3-}	antimonide
I_3^-	trijodide(1-)
Pb^-	plumbide

vervolg ►

Binaire verbindingen

- In de naamgeving worden de elementnamen gecombineerd.
- Hierbij geldt: het eerste element bij het volgen van de pijl in Figuur 1 wordt behandeld als ware het een negatief ion. Zo krijgt de naam van dit 'elektronegatieve' element het achtervoegsel 'ide' en wordt het geplaatst achter de naam van het 'elektropositieve' element.
- Van elke component wordt aangegeven hoe vaak hij voorkomt.
  - Bij éénatomige entiteiten wordt dit in principe gedaan met behulp van eenvoudige numeriek voorvoegsels.
  - Bij éénatomige entiteiten die zelf al een numeriek voorvoegsel bevatten, worden de complexe numerieke voorvoegsels gebruikt met daarachter de naam van de entiteit tussen haakjes.
  - Indien het gebruik van een eenvoudig numeriek voorvoegsel tot een misinterpretatie kan leiden, moet de naamgeving hierop aangepast worden. Zo moet tris(jodide) gebruikt worden voor 3 I^- en niet trijodide want dat is I_3^-.
  - Bij de oxide waar O^{2-} bedoeld wordt, wordt gebruik gemaakt van de eenvoudige voorvoegsels. Indien O_2^{2-} aanwezig is, en dit wordt benoemd met dioxide(2-), dan moet ook de lading van het positieve atoom tussen haakjes weergegeven worden. Hetzelfde geldt als O_2^- aanwezig is, dan wordt dit benoemd met dioxide(1-) en ook dan moet ook de lading van het positieve atoom tussen haakjes weergegeven worden. Het aantal negatieve ionen wordt in deze gevallen met complexe voorvoegsels aangegeven.
- Als in een verbinding ionen van hetzelfde element met verschillende ladingen aanwezig zijn, dan worden deze afzonderlijk benoemd, met de lading tussen haakjes erachter weergegeven.

Figuur 1

Voorbeelden van namen van binaire verbindingen:

formule	*naam*
CO	koolstofmono-oxide
CO_2	koolstofdioxide
$GaAs$	galliumarsenide
CaF_2	calciumdifluoride
P_2O_5	difosforpenta-oxide
PCl_3O	fosfortrichlorideoxide
BaO_2	barium(2+)dioxide(2-) of bariumperoxide
$FeCl_2$	ijzerdichloride
$FeCl_3$	ijzertrichloride

formule	*naam*
NaI_3	natriumtrijodide
FeI_3	ijzertris(jodide)
$Fe(I_3)_3$	ijzertris(trijodide)
Fe_3O_4	ijzer(2+)di-ijzer(3+)tetra-oxide
PbO_2	looddioxide ▶
PbO_2	lood(2+)dioxide(2-) of loodperoxide
$Pb(O_2)_2$	lood(4+)bis(dioxide(2-)) of looddiperoxide
$Pb(O_2)_2$	lood(2+)bis(dioxide(1-))

▶ Opgebouwd uit Pb^{4+} en 2 O^{2-}

vervolg ▶

Heteropolyatomische entiteiten

- Als eerste worden genoemd de positieve ionen, daarna de negatieve ionen en daarna de neutrale moleculen.
- Voor éénatomige entiteiten die onderdeel zijn van een heteropolyatomische entiteit, wordt het aantal weergegeven op de manier zoals beschreven bij de binaire verbindingen.
- Voor positieve samengestelde ionen wordt het aantal weergegeven met de eenvoudige numerieke voorvoegsels.
- Voor negatieve samengestelde ionen wordt het aantal weergegeven met de complexe numerieke voorvoegsels en de naam van het samengestelde ion tussen haakjes.
- Als in een verbinding ionen van hetzelfde element met verschillende ladingen aanwezig zijn, dan worden deze afzonderlijk benoemd, met de lading tussen haakjes erachter weergegeven.
- Neutrale deeltjes worden van elkaar gescheiden door een kastlijntje (lang, liggend streepje), hierbij wordt de stoichiometrische verhouding van de componenten binnen deze verbinding tussen haakjes na de naam van de verbinding gegeven. In het bijzondere geval van hydraten kan een eenvoudig numeriek voorvoegsel gebruikt worden, samen met de term 'hydraat'.

Voorbeelden van namen van heteropolyatomische entiteiten:

formule	*naam*
$Ca_3(PO_4)_2$	tricalciumbis(fosfaat)
$Ca_2P_2O_7$	calciumdifosfaat
$MgSO_4{\bullet}7H_2O$	magnesiumsulfaat–water (1/7) of magnesiumsulfaatheptahydraat
$CdSO_4{\bullet}6NH_3$	cadmiumsulfaat–ammoniak (1/6)
$AlK(SO_4)2{\bullet}12H_2O$	aluminiumkaliumbis(sulfaat)–water (1/12)
	of aluminiumkaliumbis(sulfaat)dodecahydraat
$Al_2(SO_4)_3{\bullet}K_2SO_4{\bullet}24H_2O$	dialuminiumtris(sulfaat)–dikaliumsulfaat–water(1/1/24)

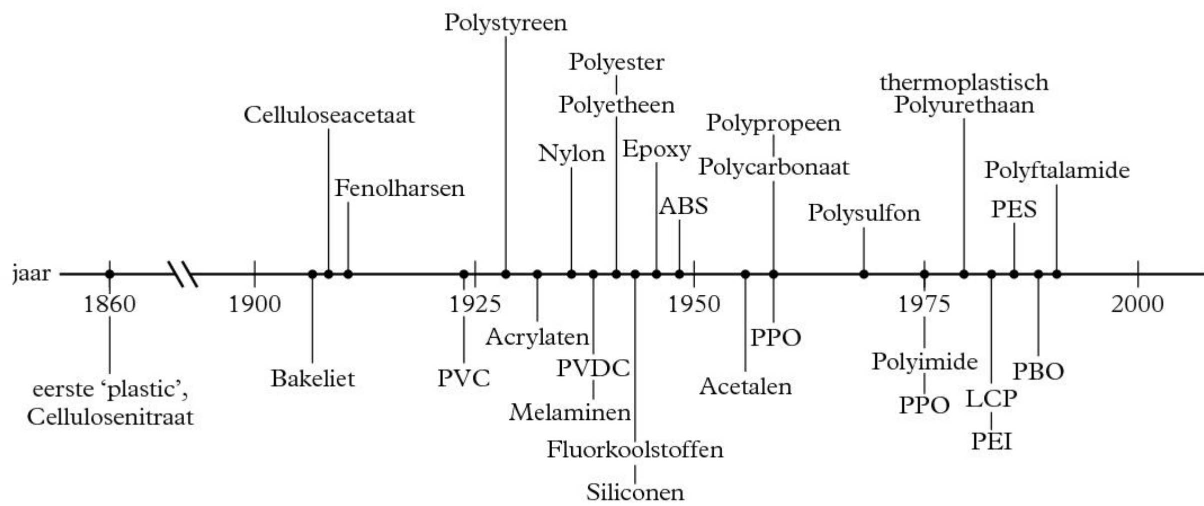
Algemene regels met betrekking tot het gebruik van koppeltekens

- Als er twee gelijke klinkers achter elkaar geplaatst worden die bij een verschillend naamonderdeel horen, dan komt er een koppelteken tussen de klinkers (mono-oxide).
- Ook **mag** ter verduidelijking een koppelteken geplaatst worden tussen twee klinkers die bij een verschillend naamonderdeel horen (penta-oxide, di-ijzer).

1 ► Er zijn echter ook algemeen aanvaarde alternatieven die ook gebruikt mogen worden. Een aantal voorbeelden:
- ijzer(III)chloride in plaats van ijzertrichloride;
- natriumcarbonaat in plaats van dinatriumcarbonaat.

2 ► Een vollediger overzicht is te vinden in: *Beknopte handleiding voor de nomenclatuur van de Anorganische Chemie*, uitgegeven door de KNCV en de KVCV, 2017.

Tijdbalk 1



jaar
1860
1900
1925
1950
1975
2000
eerste 'plastic',
Cellulosenitraat
Bakeliet
Celluloseacetaat
Fenolharsen
PVC
Polystyreen
Acrylaten
Nylon
PVDC
Melaminen
Polyester
Polyetheen
Fluorkoolstoffen
Siliconen
Epoxy
ABS
Acetalen
Polypropeen
Polycarbonaat
PPO
Polysulfon
Polyimide
PPO
thermoplastisch
Polyurethaan
LCP
PEI
PES
Polyftalamide
PBO

67 Structuurformules en structuren

A Macromoleculaire materialen

2 Indeling

indeling polymeren naar:

I keten/molecuulstructuur

lineair

netwerk

vertakt

cyclolineair

R

dendrimeer

ster

ladder

semi-ladder

kam

cyclomatrix
(bakeliet)

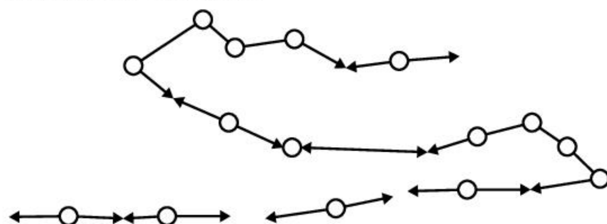
OH OH OH
CH_2 CH_2
CH_2 CH_2
OH
CH_2 CH_2
OH OH

II thermisch gedrag	
thermoplast:	plastisch, oplosbaar
thermoharder:	hard, lost niet op, zwelt niet op
elastomeer, rubber:	elastisch, lost niet op, kan opzwellen

III polymerisatiemechanismen

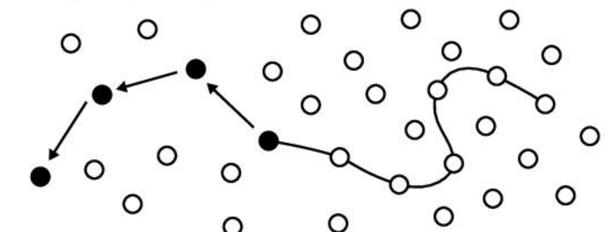
stapgroei (condensatie)

synthetisch: *polyester, polyamide*



ketengroei (additie)

natuurlijk: *rubber (polyisopreen)*
synthetisch: *PS, PVC, PMMA*



vervolg

IV tacticiteit, ruimtelijke ordening

$\sim CH_2-CH(X)-CH(X)-CH_2-CH_2-CH(X)-CH(X)-CH_2-CH_2-CH(X)\sim$

kop-kop staart-staart

isotactisch (PP)	H, H, H, H, H; H_3C, H_3C, H_3C, H_3C, H_3C
syndiotactisch	H, CH_3, H, CH_3, H; H_3C, H, H_3C, H, H_3C
atactisch	H, H, CH_3, H, CH_3; H_3C, H_3C, H, H_3C, H
cis-, *trans*-tactisch	,

V aantal eenheden in keten

homopolymeer	~A–A–A–A–A–A–A–A–A–A–A–A~
copolymeer	alternerend: ~A–B–A–B–A–B–A–B–A~ willekeurig: ~A–A–B–A–B–B–A–A–A~ statistisch: ~A–A–B–A–B–B–A–A–A–B–A~
terpolymeer	uit 3 monomeersoorten

VI verschillende blokcopolymeren

lineair		
afwisseling van blokken A en B	[-AB-]-type	~A-A-A-B-B-B-B-A-A-A-A-B-B-B~
één blok van elk monomeer	AB-type	~A-A-A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B~
centraal blok B met kop-staartblok A	ABA-type	~A-A-A-B-B-B-B-B-B-B-B-A-A~
drie verschillende blokken achter elkaar	ABC-type	~A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-C-C-C~
niet lineair		
ent-(graft-)copolymeer	polyA-graft-polyB	~A–A–A–A–A–A–A–A–A–A~ with B side chains (B-B-B-B-B, B-B-B, B-B-B-B-B, B-B, B-B-B-B)

3 Additieven

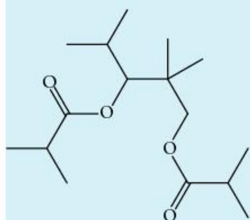
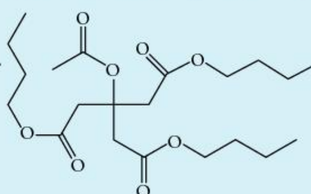
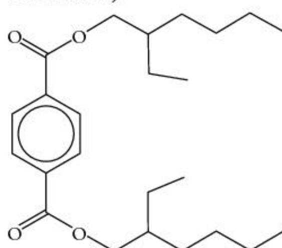
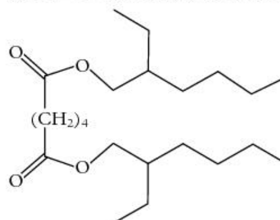
additieven	*doel*	*additieven*	*doel*
kleurstoffen	uiterlijk	vezels	treksterkte
stabilisatoren antioxidantia	houdbaarheid	emulgatoren dispergeermiddelen	structuur, homogeniteit
brandvertragers vlamvertragers	brandveiligheid	weekmakers verdikkingsmiddelen	structuur, viscositeit
blaasmiddelen	structuur, schuim	vulstoffen	structuur, maar ook houdbaarheid, warmtegeleiding
antistatica	geen statische lading		

■ Additieven dienen ter verbetering van de materiaaleigenschappen.

4 Weekmakers

naam/structuur	*toepassing/ bijzonderheden*	*naam/structuur*	*toepassing/ bijzonderheden*
ftalaten			
DEHP ▸1,3 (bis(2-ethylhexyl) ftalaat)	Breed inzetbaar. o.a. In medische toepassingen. Bijvoorbeeld bloedzakken.	DBP ▸1 (dibutylftalaat)	Breed inzetbaar. Verder in o.a. kleefstoffen, verf en drukinkten.
BBP ▸1 (benzylbutylftalaat)	'Fast fusing' weekmaker (er ontstaat snel een uitgeharde film), o.a. in vloerbedekking.	DINP ▸2 (bis(isononyl)ftalaat) C_9H_{19} C_9H_{19}	Breed inzetbaar. Komt voor als een mengsel van isomeren. Voornamelijk bis(3,3,5-trimethyl-hexyl) ftalaat en bis(2,6-dimethylheptyl)ftalaat
alternatieve weekmakers			
TPP ▸2 (trifenylfosfaat)	Vlamvertragend. Wordt o.a. gebruikt in elektriciteitskabels.	DINCH (bis(isononyl) cyclo-hexaan-1,2-dicarboxylaat) C_9H_{19} C_9H_{19}	O.a. gebruikt in speelgoed en intraveneuze buisjes, voedingscontactmaterialen. Wordt bereid uit DINP.

vervolg ▸

TXIB (1-isopropyl-2,2-dimethyltrimethyleen bis(isobutyraat)) 	Wordt gebruikt in producten met een zacht oppervlak, zoals PVC-leer. Goede stabiliteit bij warmte en UV-licht.	TBAC (tributylacetylcitraat) 	O.a. gebruikt in voedings-contactmaterialen, (sabbel) speelgoed en lijmen.
DEHT (bis(2-ethylhexyl) tereftalaat) ▶4 	Breed inzetbaar. Ook toegepast in rubbers.	DEHA ▶4 (bis(2-ethylhexyl)adipaat) 	O.a. in folie, speelgoed.

1 ▶ Mogen niet worden gebruikt als stoffen of bestanddelen van preparaten gehaltes bevatten hoger dan in totaal 0,1 massa% van het weekgemaakte materiaal in speelgoed en kinderverzorgingsartikelen.
2 ▶ Mogen niet worden gebruikt als stoffen of bestanddelen van preparaten gehaltes bevatten hoger dan in totaal 0,1 massa% van het weekgemaakte materiaal in speelgoed en kinderverzorgingsartikelen, die door kinderen in de mond genomen kunnen worden.
3 ▶ ook bekend onder de naam DOP (dioctylftalaat)
4 ▶ De 'D' is afgeleid van D 'di-'. In de nieuwe nomenclatuur is di vervangen door bis.

Nieuwe materialen B

smart materials ▶1	*externe invloed*	*toepassing*
piëzo-elektrisch *lood-zirkonaat-titanaat, PVDF*	druk	spuitmondjes in printers, luidsprekertje in digitale horloges, elektrische gasaanstekers, nevelapparaten
geheugenmetaal *Nitinol®*	temperatuur	geneeskunde: rechttrekken ruggengraat, vaatverwijding (stents) tandheelkunde: constante drukuitoefening
geleidende polymeren *trans-polypropyn*	elektrisch veld	transistoren, antistatische coatings
ER/MR ▶2 vloeistoffen *olie met kleine magnetische deeltjes*	elektrisch, magnetisch veld	demping: in schokbrekers, bij aardbevingen
kleurveranderend *halfgeleider van metalen met additieven*	licht	in verf, inkt, glas
lichtemitterend *oled*	licht, warmte, chemische energie	LED's, forensische chemie, lichtstaven

1 ▶ materialen waarvan een of meer eigenschappen op gecontroleerde wijze veranderen door externe invloeden. Deze invloeden kunnen zich voordoen in de vorm van belasting, temperatuur, vochtigheid, zuurgraad (pH), elektrische of magnetische velden. In tegenstelling tot materialen in "gewone" toepassingen, is de verandering bij slimme materialen juist gewenst. De verandering vindt plaats op het moment dat het materiaal zich al in zijn toepassing bevindt. Afhankelijk van het soort slim materiaal is het proces reversibel (omkeerbaar) of irreversibel (onomkeerbaar).
2 ▶ elektro-/magnetorheologisch

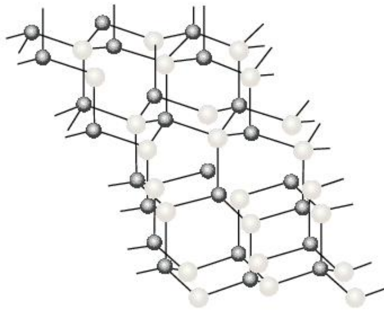
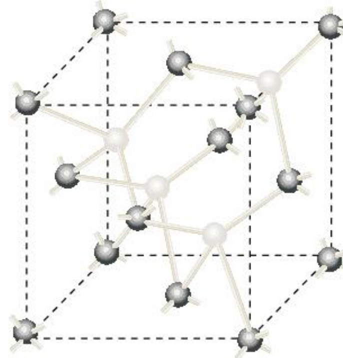
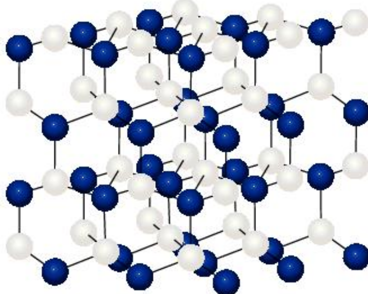
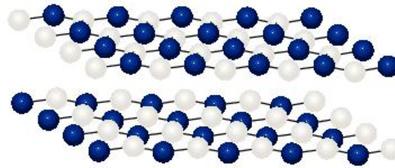
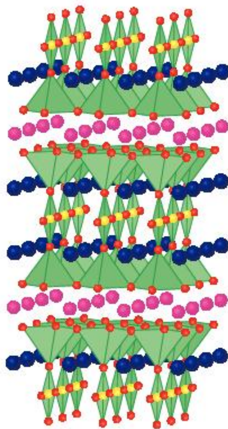
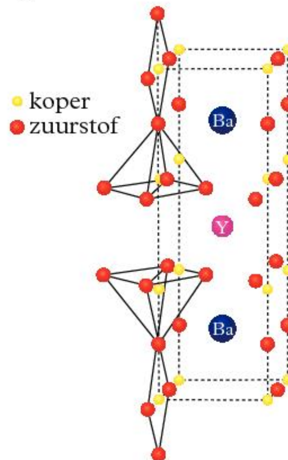
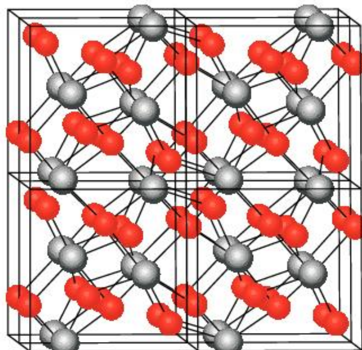
vervolg ▶

B Nieuwe materialen

andere nieuwe materialen	*toelichting*	*toepassing*
composieten	samengestelde materialen, vaak vezelversterkte kunststoffen: bestaan uit vezel en matrix. *glare*: laagjes aluminium met glasvezelweefsel en kunsthars *spaanplaat*: zaagsel, hout en kunsthars	glasvezelkabel, vliegtuigbouw, bouw
vezels	bestaan uit lange polymeerstrengen	
	glasvezel wordt getrokken uit gesmolten glas (siliciumdioxide)	glasvezelkabel
	koolstofvezel door verkolen van een draad PAN of dralon	polsstok, tennisracket, racefiets, ski, hengel
	aromatische polyamides, aramide *Kevlar®/Twaron®*	beschermende kleding, gewichtsbesparing, asbestvervanging, rubberversterking
	ultrahoogmoleculair polyetheen *Dyneema®/Spectra®*	scheepstouwen
	liquid cristall polymer, LCP: *Vectran®*	kunststof spaken, duurdere banden
biocompatibele materialen	compatibel met organismen *titaan, polyethyleen, bioglas, hydroxyapatiet*	implantaten
bioafbreekbare materialen	in korte tijd door bacteriën afbreekbaar tot natuurlijke stoffen	
	direct uit biomassa *polysachariden*	vervanger voor PE (plastic folie, tassen) en PP (wegwerpbestek)
	chemische synthese uit melkzuur *biopolyesters*	vervanger voor PE (wegwerpbordjes) en PS (vleesbakjes, hamburgerdoosjes)
	door bacteriën uit biomassa *polyhydroxyalkanoaten*	vervanger voor PP (tapijt)
zachte materialen	vloeibare kristallen/colloïden/gels *latexverf, gelatine, zalf*	LCD-schermen, technisch keramiek, informatiedragers, haargel, dermaticum
nanomaterialen	morfologische kenmerken op nanoschaal: *nanobuisjes, buckeyballs*	smeermiddel, medicijnen, elektrotechniek, computer

C Hardheidsschaal van Mohs

hardheid Mohs	*hardheid absoluut (Vickers)*	*mineraal*	*molecuulformule*	*krasinformatie*
1	1	talk	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	met elk van de andere krasbaar
2	2	gips	$CaSO_4.2H_2O$	krasbaar met een vingernagel
3	9	calciet	$CaCO_3$	met een mes zeer goed snijdbaar
4	21	fluoriet	CaF_2	met een mes krasbaar
5	48	apatiet	$Ca_5(PO_4)_3(OH,Cl,F)$	met een mes enigszins krasbaar
6	72	orthoklaas	$KAlSi_3O_8$	met een mes nauwelijks krasbaar
7	100	kwarts	SiO_2	krast glas, staal en meeste andere stoffen
8	200	topaas	$Al_2SiO_4(OH,F)_2$	krast kwarts
9	400	korund	Al_2O_3	krast topaas
10	1600	diamant	C	kan enkel gekrast worden met diamant

naam/structuur	*toepassingen/bijzonderheden*
siliciumcarbide (SiC)   *eenheidscel*	wordt o.a. gebruikt voor slijpen, polijsten, bepantsering, kogelwerende vesten, keramische remschijven; halfgeleider (er bestaan 125 kristallijne vormen van)
boornitride (BN)  *kubisch*  *hexagonaal gelaagd*	kubisch: zeer hard wordt o.a. gebruikt als slijp- en boormiddel hexagonaal gelaagd: halfgeleider, goede geleiding van warmte; wordt o.a. gebruikt als smeermiddel, in cosmetica, om metalen in te smelten
yttrium-barium-koperoxide ($YBa_2Cu_3O_7$)  	supergeleider
zirkonium(IV)oxide (ZrO_2) 	wordt o.a. gebruikt bij het vervaardigen van bruggen en kronen in de tandheelkunde; materiaaleigenschappen komen dicht bij die van diamant

67 Structuurformules en structuren

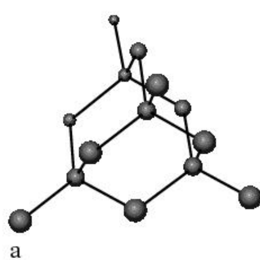
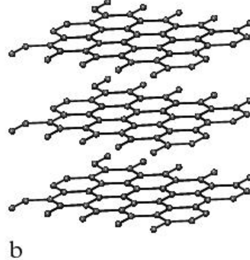
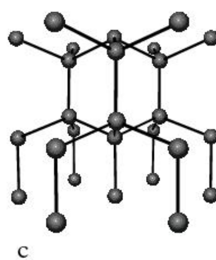
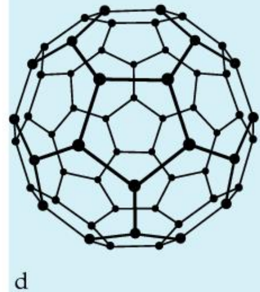
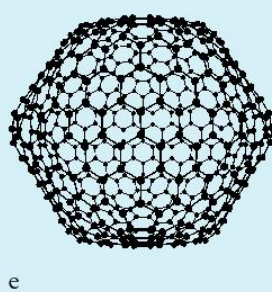
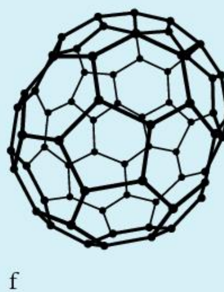
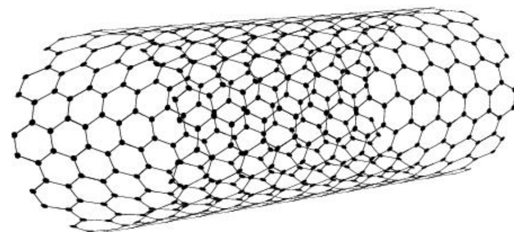
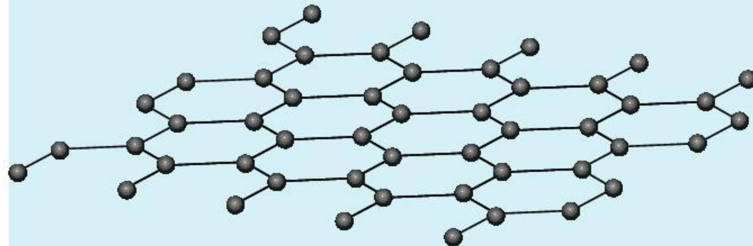
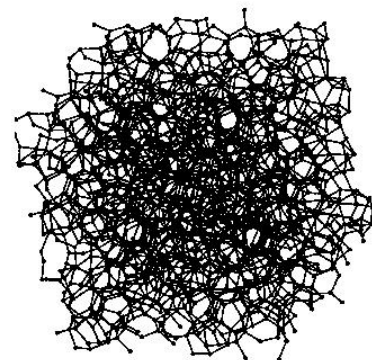
D Kristalstructuren

2 Bravaisroosters

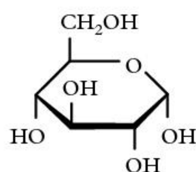
kristalrooster → *eenheidscel ↓*		*primitief (eenvoudig)* *P*	*lichaamsgecentreerd* *I*	*grondvlakgecentreerd* *S*	*vlakgecentreerd* *F*
kubisch = isometrisch abundantie van deze structuur in kristallen: 12%	*c*	a, a, a — *cP* cesiumjodide CsI	*cI* ferriet Fe		*cF* aluminium Al
tetragonaal 10%	*t*	c, a, a — *tP* wulfeniet $PbMoO_4$	*tI* martensiet Fe,C		
romboëdrisch, trigonaal 9%	*h*	a, α, α, α, a, a, a — *hR* calciet $CaCO_3$			
hexagonaal 8%	*h*			c, 120°, a, a — *hP* beril $Be_3Al_2Si_6O_{18}$	

vervolg ▶

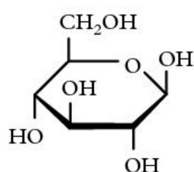
kristalrooster → *eenheidscel ↓*		*primitief (eenvoudig)* *P*	*lichaamsgecentreerd* *I*	*grondvlakgecentreerd* *S*	*vlakgecentreerd* *F*
orthorombisch	*o*	*a* *b* *c* *oP*	*oI*	*oS*	*oF*
22%		andalusiet Al_2SiO_5	dawsoniet $NaAlCO_3(OH)_2$	ferruciet $NaBF_4$	melanothalliet Cu_2OCl_2
monoklien	*m*	*a* *b* *c* *β* *mP*		*mS*	
32%		zwavel S		glauber $Na_2SO_4{\cdot}10H_2O$	
triklien	*a*	*a* *b* *c* *α* *β* *γ* *aP*			
7%		wollastoniet $CaSiO_3$			

netwerkstructuren  a  b  c	a diamant (kubisch) b grafiet (gelaagd) c lonsdaleïet (hexagonaal) *slijpen sieraden, sleepcontacten, moderator in kernreactor, meteoriet*
moleculaire (nano) structuren: fullerenen  d  e  f	d C_{60} e C_{540} f C_{70} *farmacie, opsluiten atomen, supergeleiding*
macromoleculaire structuur: nanobuisjes 	variabele lengte en diameter *AF-microscopie, sensoren, waterstofopslag, zonnecel, supersterke materialen, nanolager, bactericide*
monolaag: grafeen 	quantumeigenschappen: *DNA-analyse, computerchips*
amorf 	houtskool, steenkool *cokes, roet* 'nieuwe koolstof' die in elke richting enorme druk kan doorstaan *technische aambeelden (i.p.v. technisch diamant)*

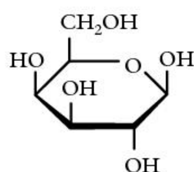
Monosachariden 1



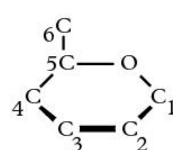
D-glucose
(α-cycloformule)
(druivensuiker)



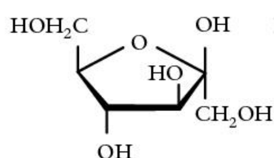
D-glucose
(β-cycloformule)
(druivensuiker)



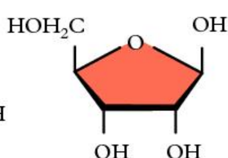
D-galactose
(β-cycloformule)



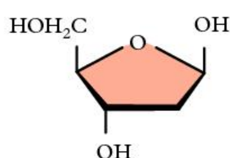
nummering
C-atomen



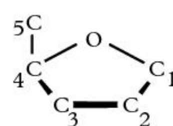
D-fructose
(β-cycloformule)
(vruchtensuiker)



D-ribose[▶1]
(β-cycloformule)



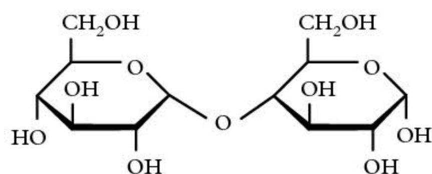
D-2-deoxyribose[▶1]
(β-cycloformule)



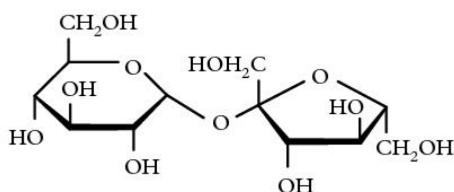
nummering
C-atomen
ribose en deoxyribose

1 ▶ Betekenis kleur: zie tabel 71C.

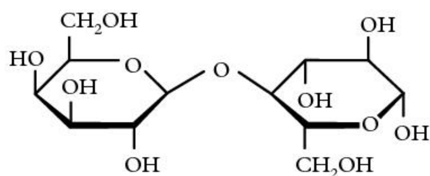
Disachariden 2



maltose (moutsuiker)



sacharose (bietsuiker, rietsuiker)

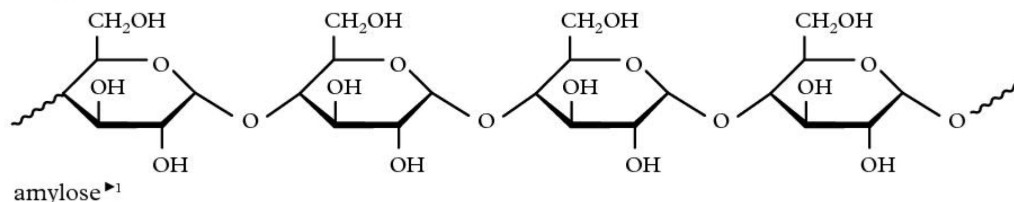


lactose (melksuiker)

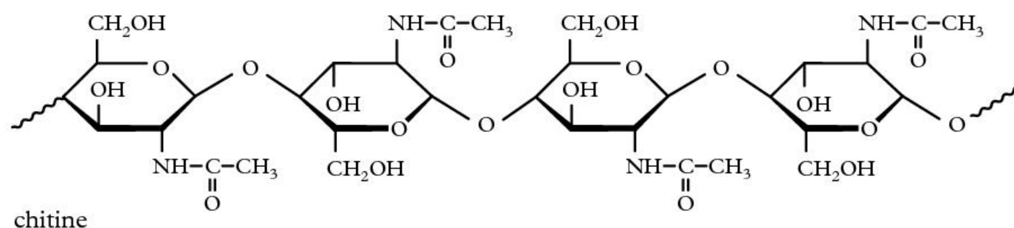
■ Mono- en disachariden worden vaak aangeduid als suikers.

F Sachariden, koolhydraten

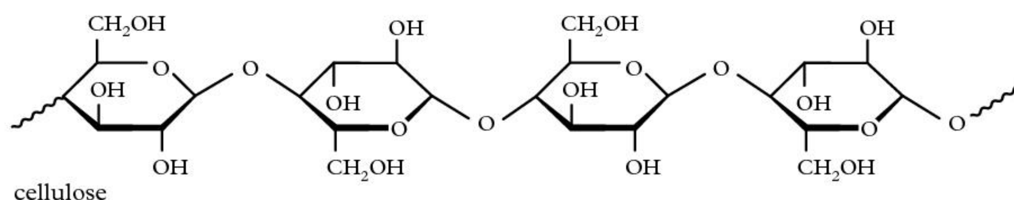
3 Polysachariden



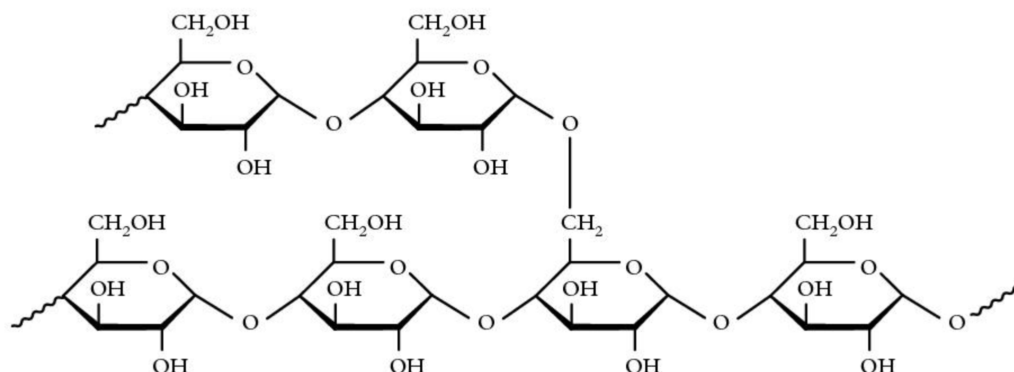
amylose[1]



chitine



cellulose



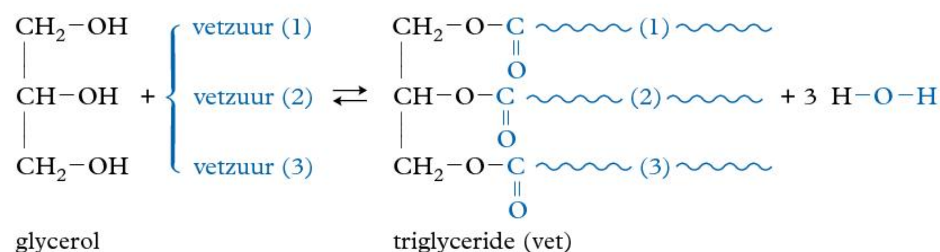
glycogeen: sterk vertakte keten
amylopectine: zwak vertakte keten

■ Veel sachariden voldoen aan de algemene formule $C_m(H_2O)_n$; de sachariden worden daarom vaak aangeduid als koolhydraten.

1 ► Zetmeel bestaat uit amylose en amylopectine.

G Vetten, vetzuren en fosfolipiden

1 Vetten



Vetzuren 2

Verzadigde vetzuren

$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$

stearinezuur (in dierlijke vetten)

$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$

palmitinezuur (in palmolie)

Enkelvoudig onverzadigd vetzuur

$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$

oliezuur (in olijfolie tot 80%)

Meervoudig onverzadigde vetzuren

$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$

linolzuur▸1 (een omega-6-vetzuur, in saffloerolie en als additief)

$H_3C-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$

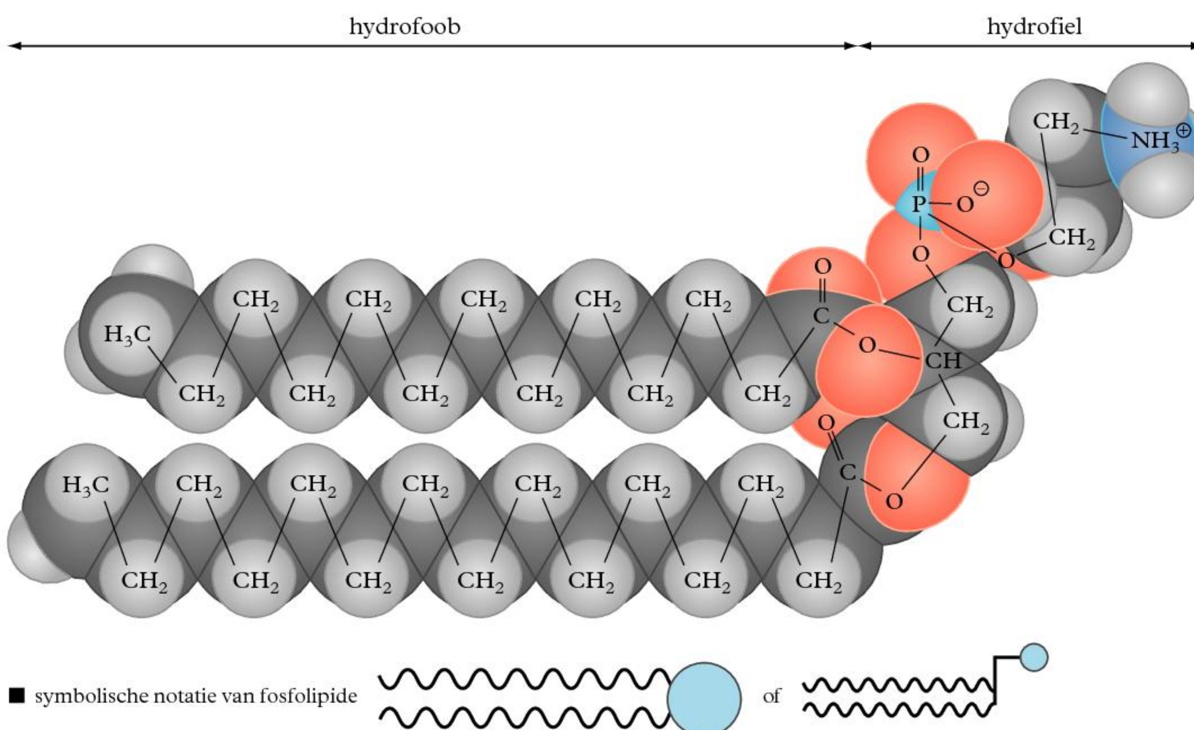
α-linoleenzuur▸1 (een omega-3-vetzuur, in lijnzaadolie en walnoten)

$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$

arachidonzuur▸1 (een omega-6-vetzuur, in eierdooiers en wild(vlees))

1 ▶ essentieel vetzuur

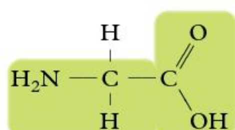
Fosfolipiden 3

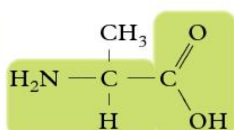


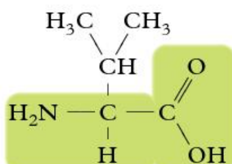
■ symbolische notatie van fosfolipide of

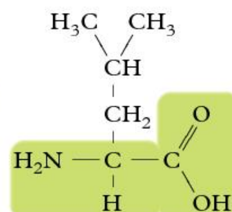
1 Aminozuren van eiwitten ▸1

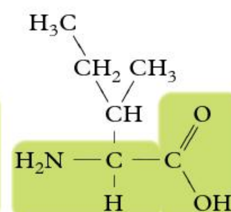
alifatische aminozuren


glycine (Gly) G 6,06 ▸1

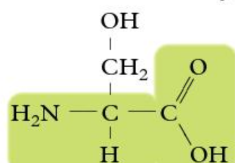

alanine (Ala) A 6,11

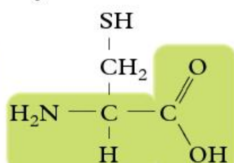

valine (Val) V 6,00 ▸2

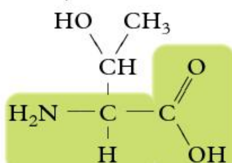

leucine (Leu) L 6,04 ▸2

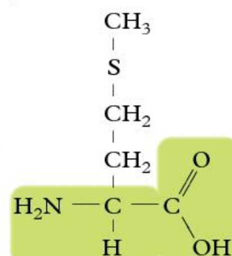

isoleucine (Ile) I 6,04 ▸2

aminozuren met hydroxyl- of zwavelhoudende zijketen

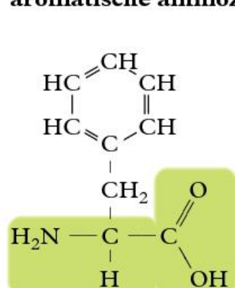

serine (Ser) S 5,68

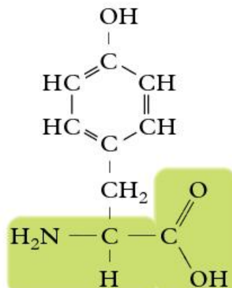

cysteïne (Cys) C 5,02

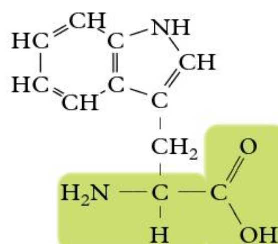

threonine (Thr) T 5,60 ▸2


methionine (Met) M 5,74 ▸2

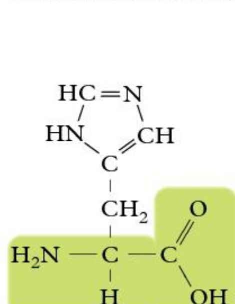
aromatische aminozuren

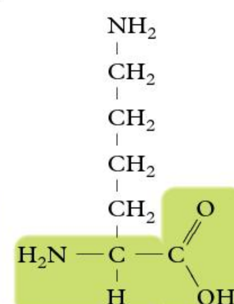

fenylalanine (Phe) F 5,91 ▸2

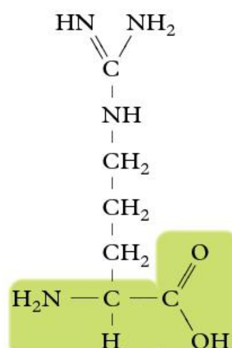

tyrosine (Tyr) Y 5,63


tryptofaan (Trp) W 5,88 ▸2

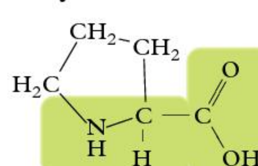
basische aminozuren


histidine (His) H 7,64

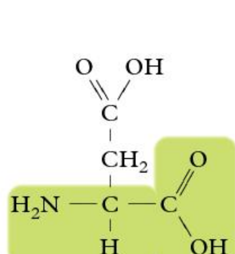

lysine (Lys) K 9,47 ▸2

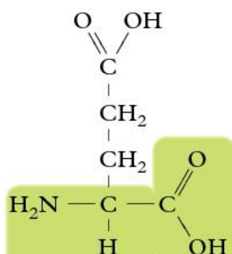

arginine (Arg) R 10,76

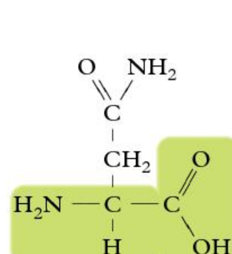
cyclisch aminozuur

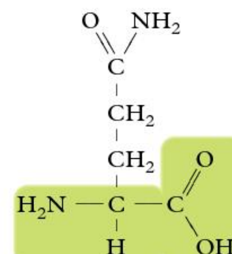

proline (Pro) P 6,30

zure aminozuren en hun amides


asparaginezuur (Asp) D 2,98

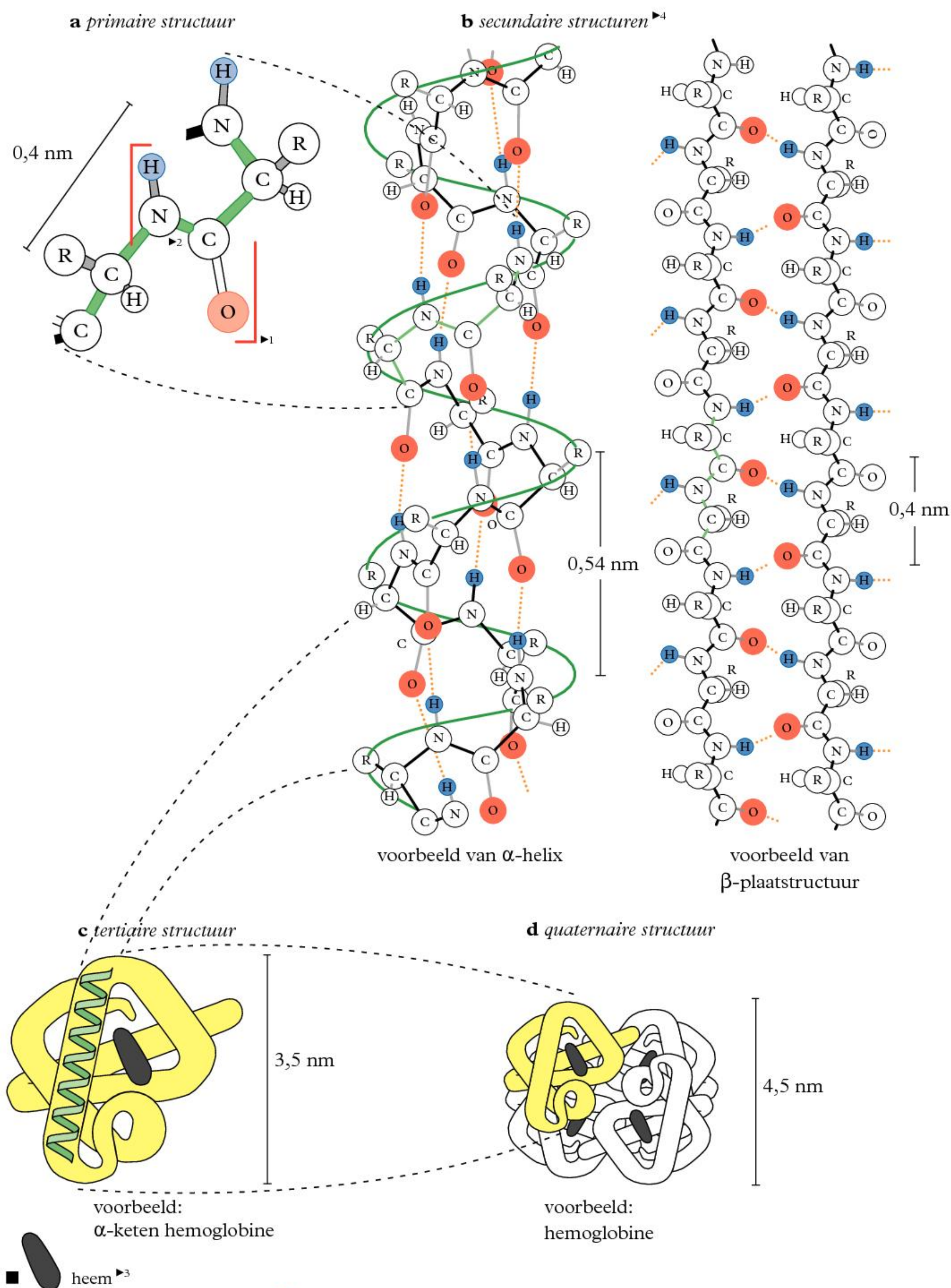

glutaminezuur (Glu) E 3,08


asparagine (Asn) N 5,41


glutamine (Gln) Q 5,65

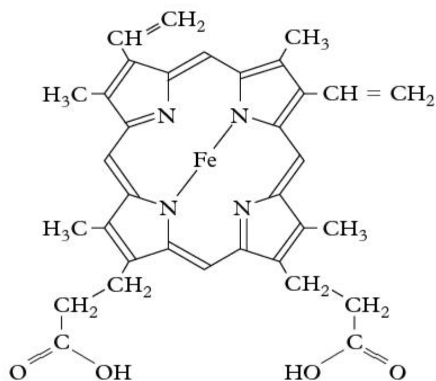
■ Bijbehorende codons in het mRNA; zie tabel 71G.

1 ▸ naam, (3-lettersymbool), 1-lettersymbool, isoëlektrisch punt pI
2 ▸ voor mensen essentieel

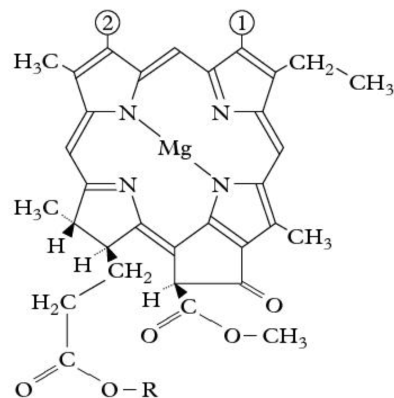


1 ▶ De atoomgroep tussen de haken ⌈ ⌋ is de peptidegroep.
2 ▶ peptidebinding
3 ▶ Heem: zie tabel 67I.
4 ▶ Plaatstructuur kan uit meer ketens bestaan.

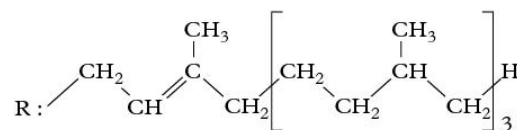
I Heem, fotopigmenten



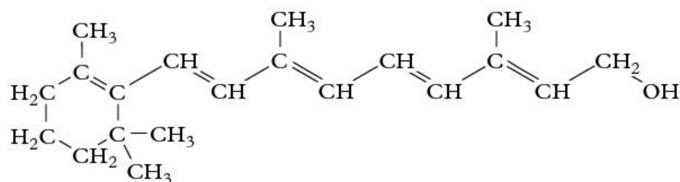
heem



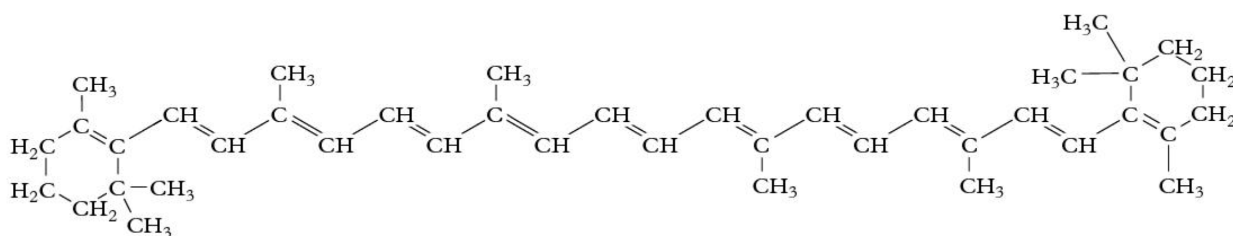
chlorofyl



① $-CH_3$ bij chlorofyl-a en -d
$-CHO$ bij chlorofyl-b
② $-CH=CH_2$ bij chlorofyl-a en -b
$-CHO$ bij chlorofyl-d

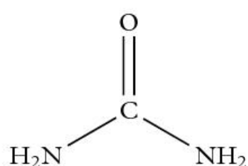


vitamine A

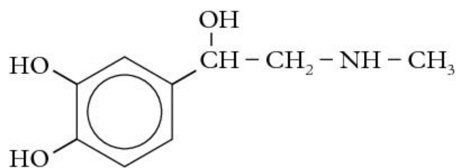


β-caroteen

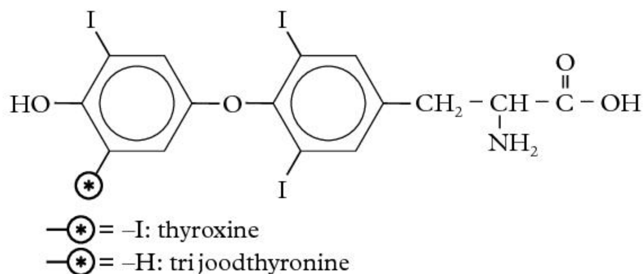
J Ureum



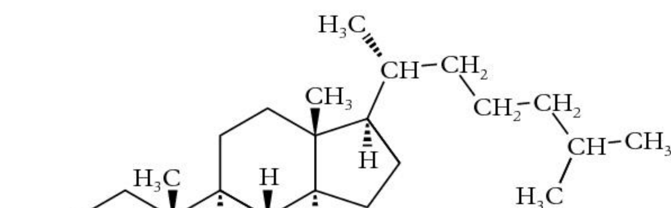
Derivaten van tyrosine 1



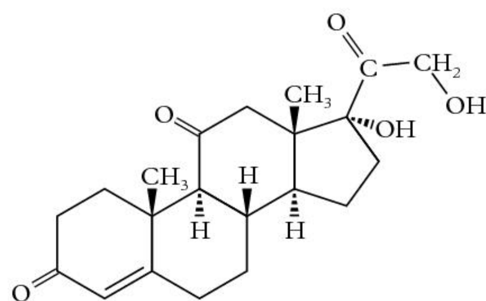
adrenaline, epinefrine



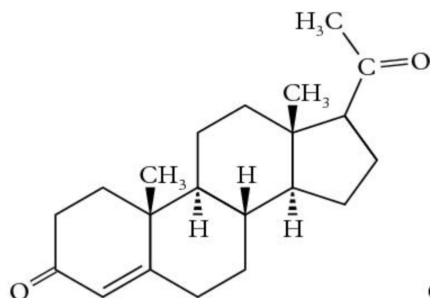
Steroïden 2



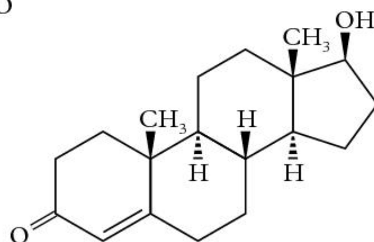
cholesterol ▶1



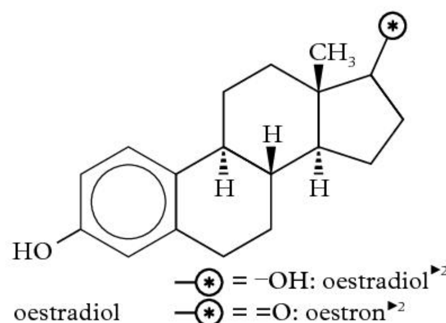
cortison ▶2



progesteron ▶2

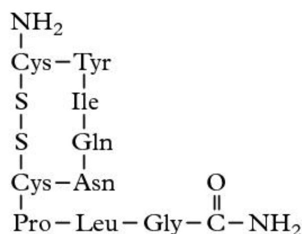


testosteron ▶2

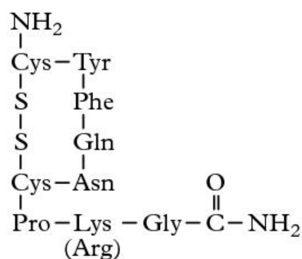


oestradiol

Peptidehormonen 3



oxytocine



antidiuretisch hormoon (vasopressine)

■ Voor werking van de hormonen: zie tabel 89A.

1 ▶ uitgangsstof voor steroïdhormonen
2 ▶ steroïdhormonen

4 Insuline

H$_2$N–Gly–Ile–Val–Glu–Gln–Cys–S–S–Cys–Ser–Leu–Tyr–Gln–Leu–Glu–Asn–Tyr–Cys–Asn–C(=O)–OH

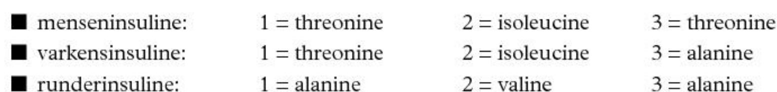
Cys–①–Ser–②

S–S

S–S

Gln–His–Leu–Cys–Gly–Ser–His–Leu–Val–Glu–Ala–Leu–Tyr–Leu–Val–Cys–Gly–Glu–Arg–Gly–Phe–Phe–Tyr–Thr–Pro–Lys–③–C(=O)–OH

Gln–Asn–Val–Phe–NH$_2$



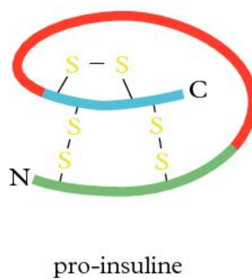
- menseninsuline: 1 = threonine 2 = isoleucine 3 = threonine
- varkensinsuline: 1 = threonine 2 = isoleucine 3 = alanine
- runderinsuline: 1 = alanine 2 = valine 3 = alanine

ruimtelijke voorstelling

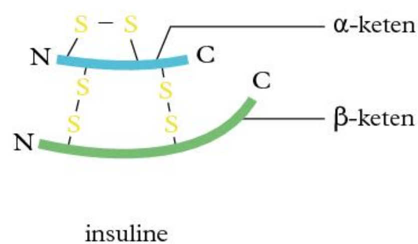
wordingsgeschiedenis

koppelstuk
HS
SH
HS
SH
HS
β-keten
beginstuk
C
α-keten
N
SH

prepro-insuline

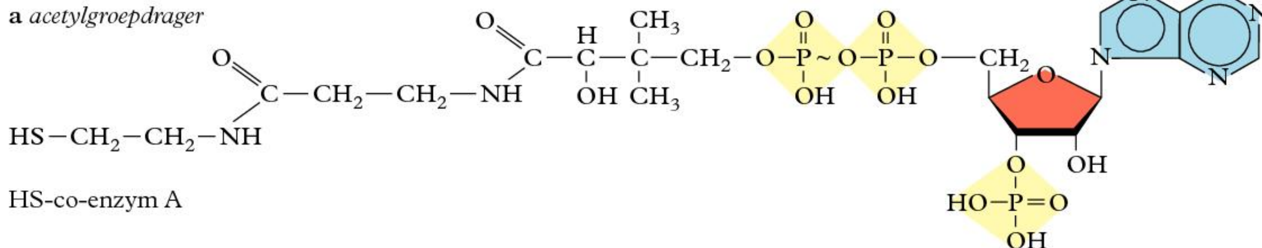


pro-insuline



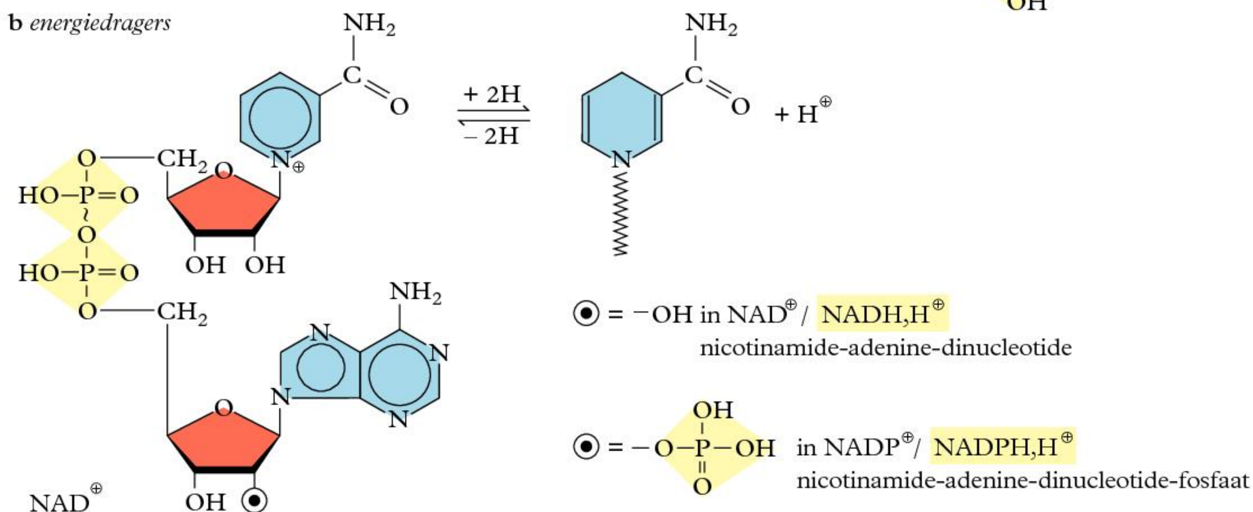
insuline

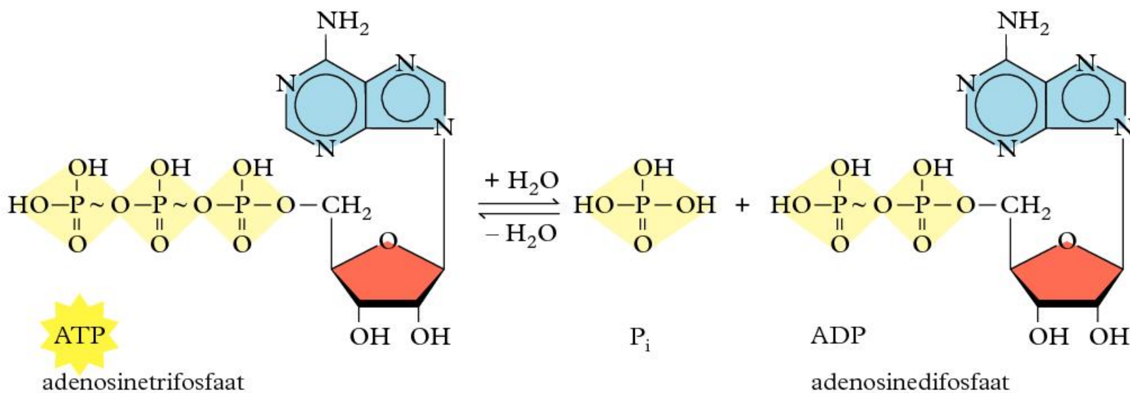
a *acetylgroepdrager*



HS-co-enzym A

b *energiedragers*





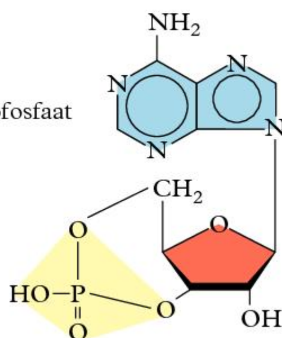
adenosinetrifosfaat

adenosinedifosfaat

$ATP + H_2O \rightleftarrows P_i + ADP$ maximale energieopbrengst in een cel: $31 \cdot 10^3\ J\,mol^{-1}$

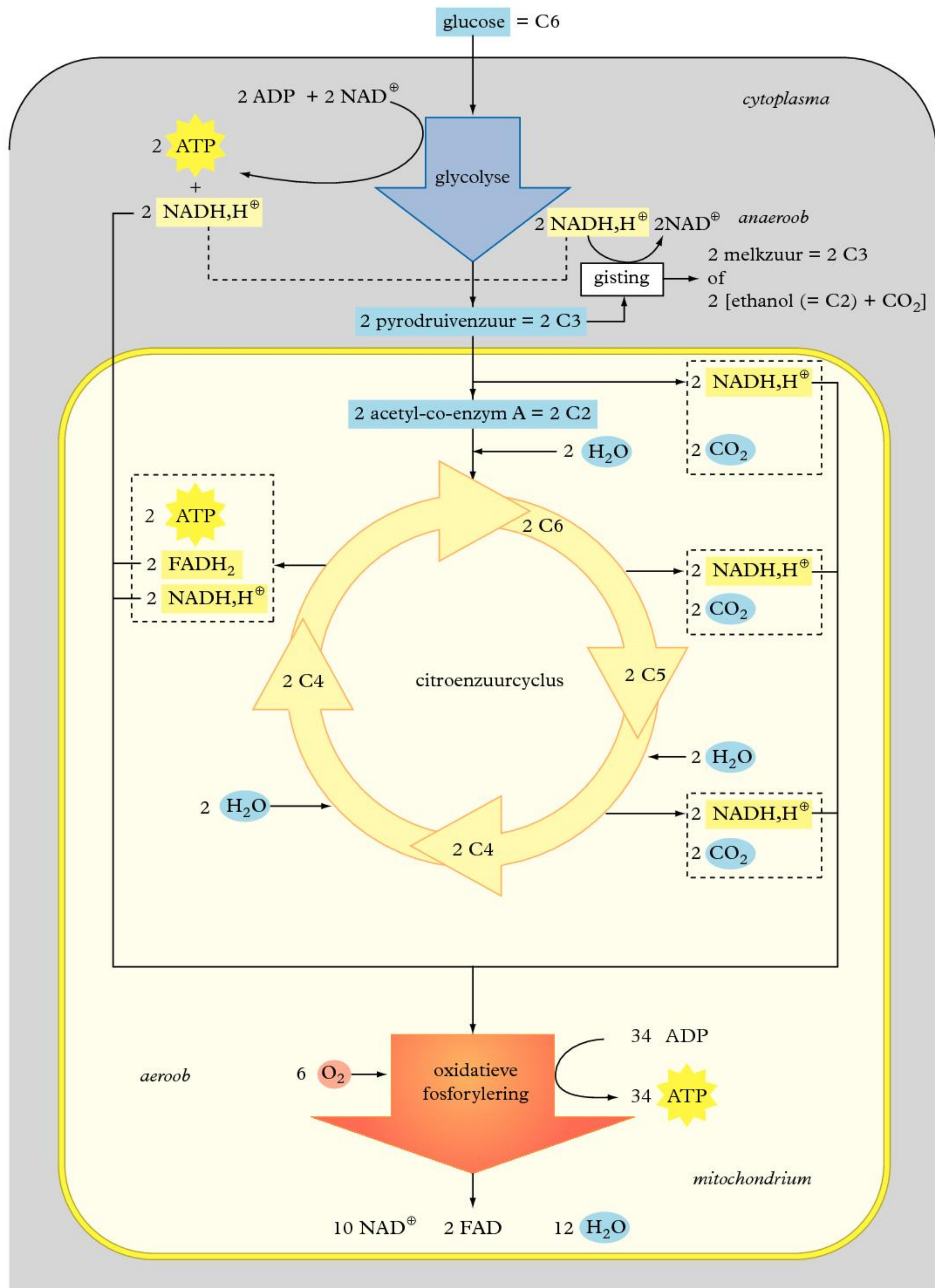
c *signaaldrager*

cyclisch AMP
cyclisch adenosinemonofosfaat

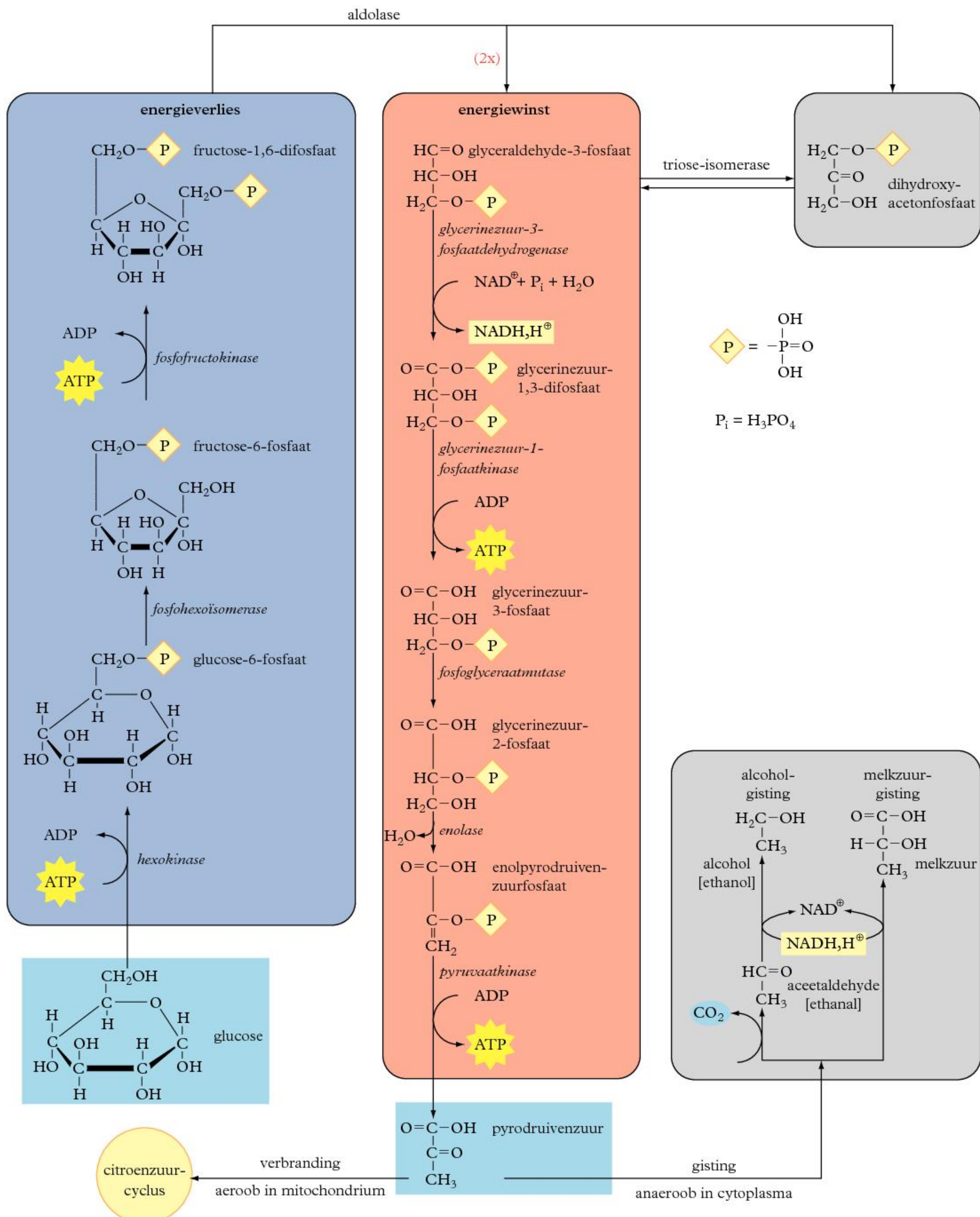


- ~ = symbool voor een energierijke binding
- P_i = anorganisch fosfaat

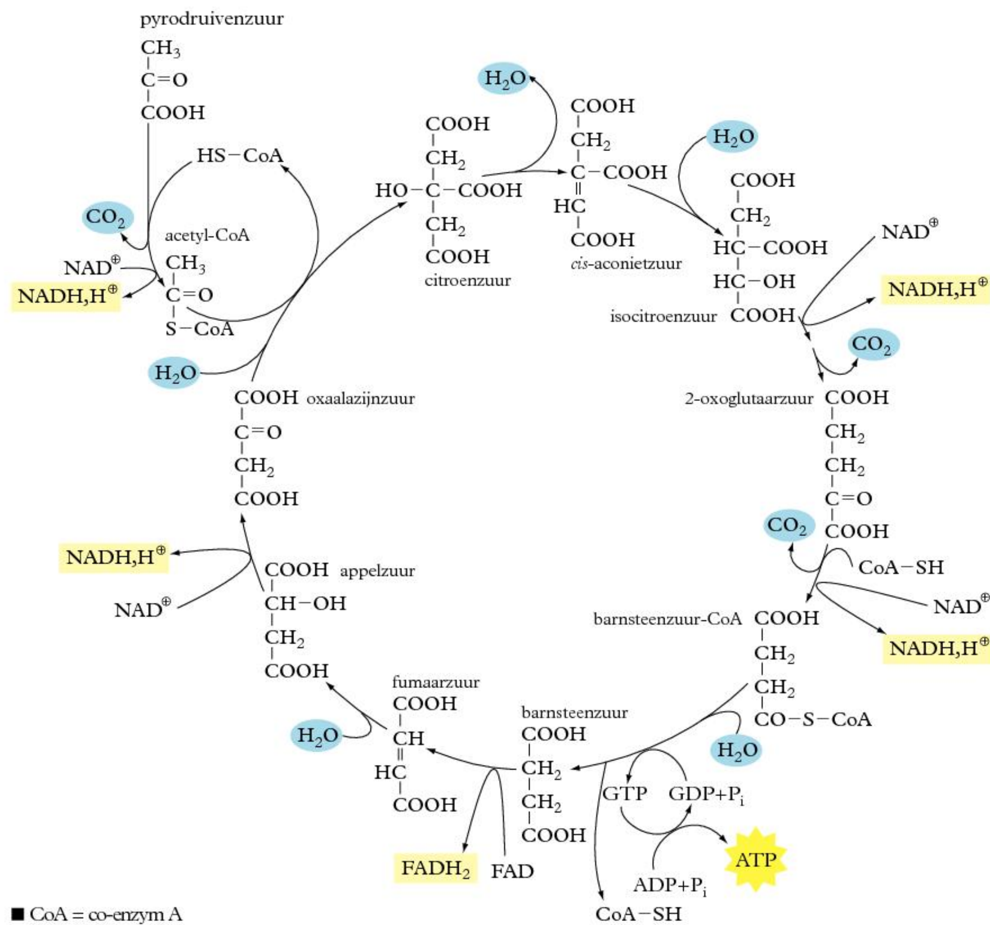
A Overzicht dissimilatie van glucose



■ Bij het in het cytoplasma geproduceerde NADH,H⊕ wordt bij het passeren van de mitochondriummembraan 1 ATP gebruikt.

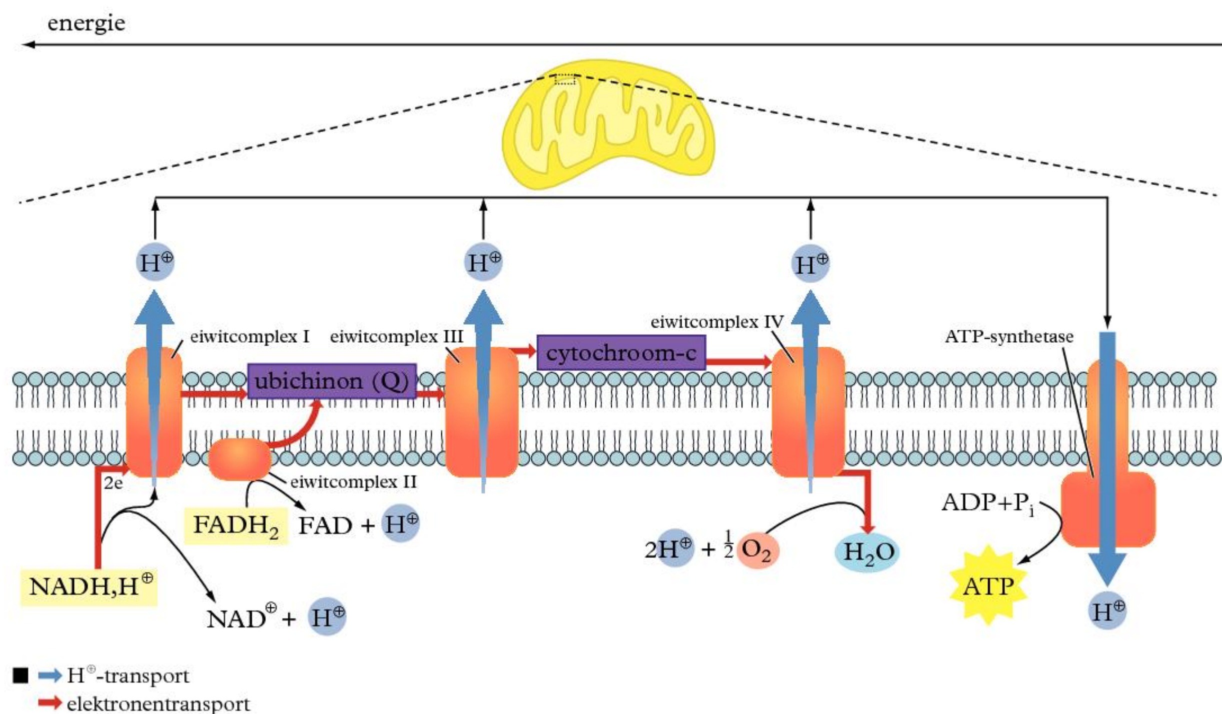

aldolase
(2x)
energieverlies
fructose-1,6-difosfaat
ADP
ATP
fosfofructokinase
fructose-6-fosfaat
fosfohexoïsomerase
glucose-6-fosfaat
ADP
ATP
hexokinase
glucose
energiewinst
glyceraldehyde-3-fosfaat
glycerinezuur-3-fosfaatdehydrogenase
NAD⊕ + P_i + H_2O
NADH,H⊕
glycerinezuur-1,3-difosfaat
glycerinezuur-1-fosfaatkinase
ADP
ATP
glycerinezuur-3-fosfaat
fosfoglyceraatmutase
glycerinezuur-2-fosfaat
H_2O
enolase
enolpyrodruivenzuurfosfaat
pyruvaatkinase
ADP
ATP
pyrodruivenzuur
triose-isomerase
dihydroxy-acetonfosfaat
$P_i = H_3PO_4$
alcohol-gisting
melkzuur-gisting
alcohol [ethanol]
melkzuur
NAD⊕
NADH,H⊕
aceetaldehyde [ethanal]
CO_2
citroenzuur-cyclus
verbranding
aeroob in mitochondrium
gisting
anaeroob in cytoplasma

C Citroenzuurcyclus

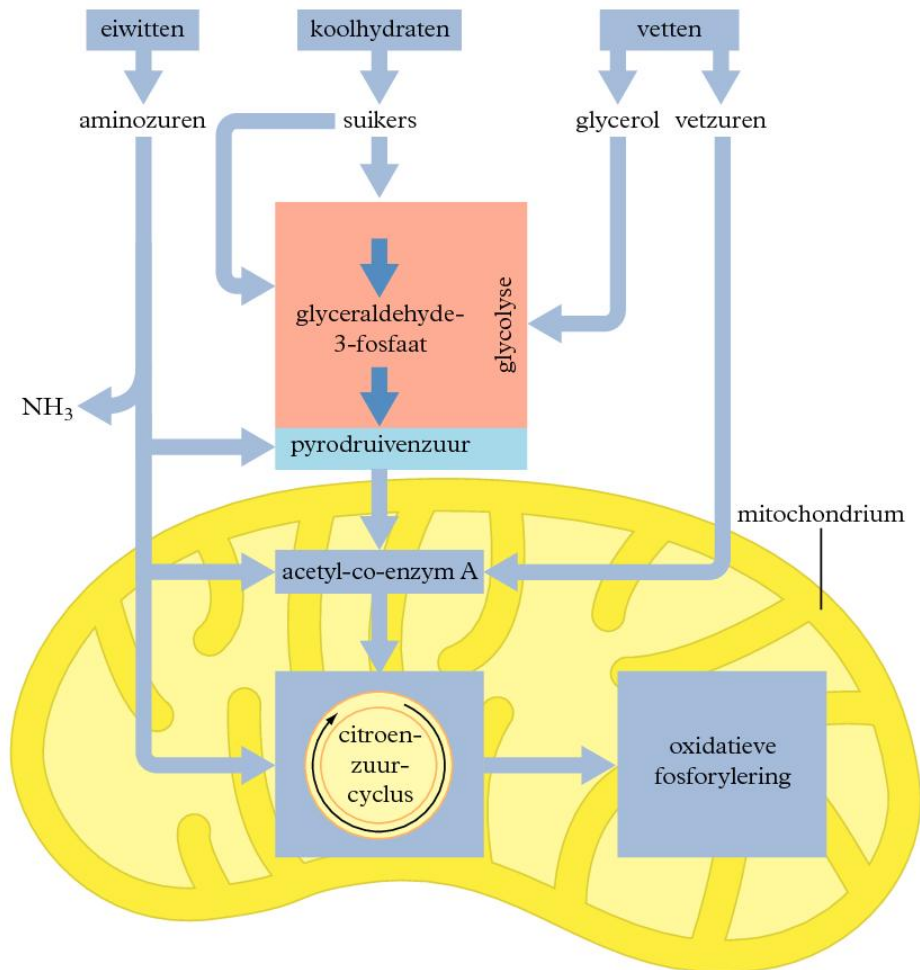


■ CoA = co-enzym A

D Oxidatieve fosforylering, ademhalingsketen

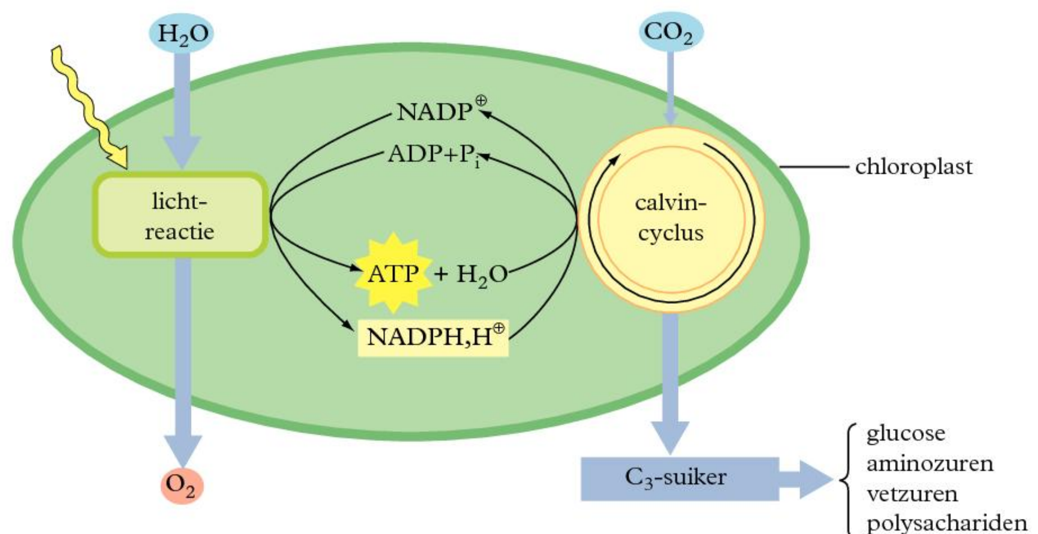


■ H⊕-transport
elektronentransport

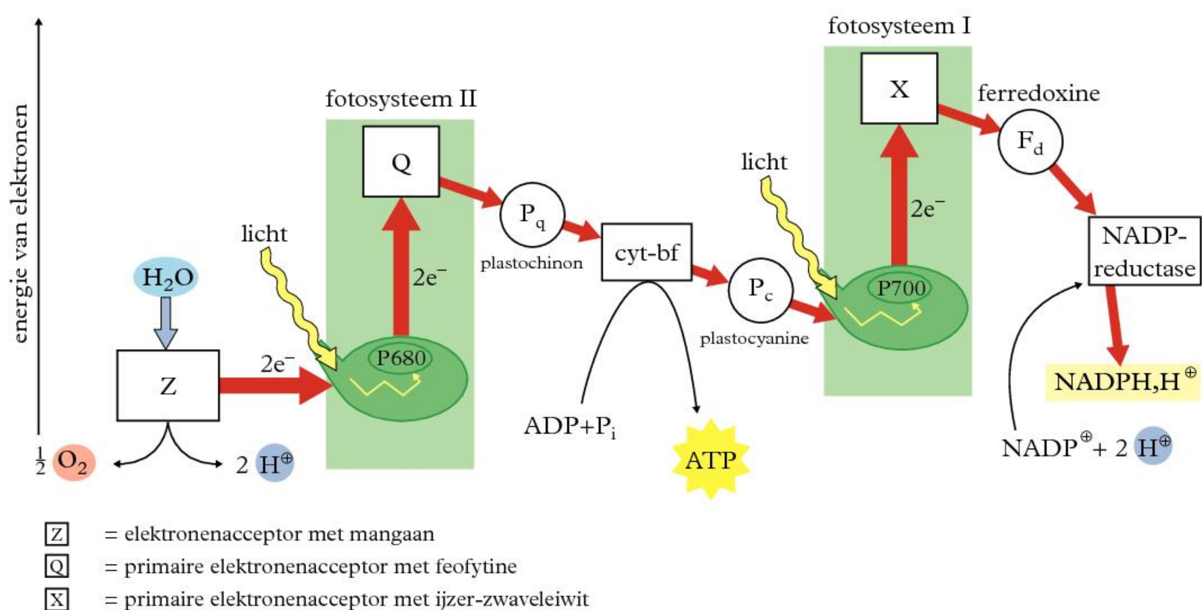


Fotosynthese 69

Overzicht fotosynthese, koolstofassimilatie A

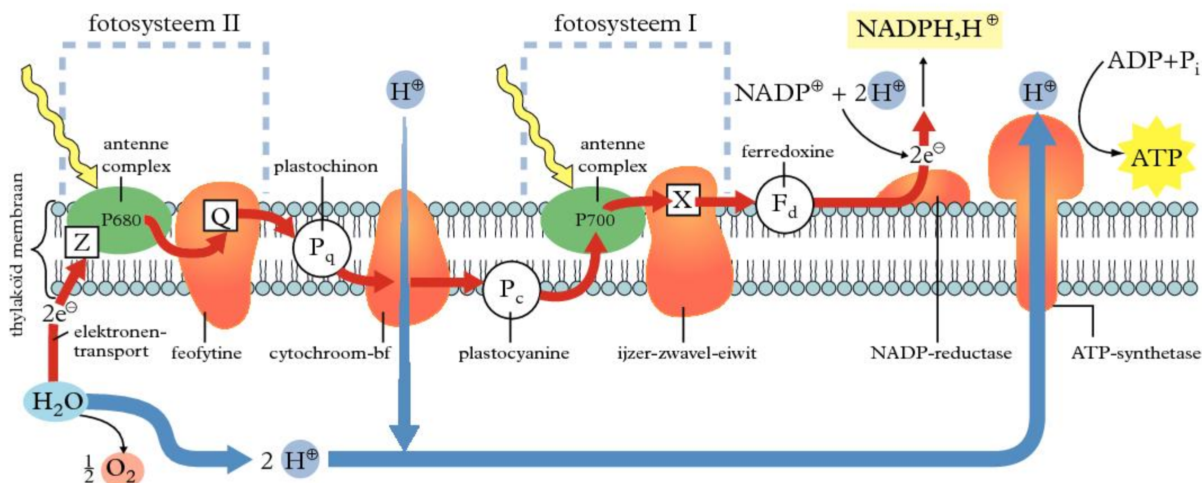


1 Niet-cyclische fotofosforylering: energieverloop

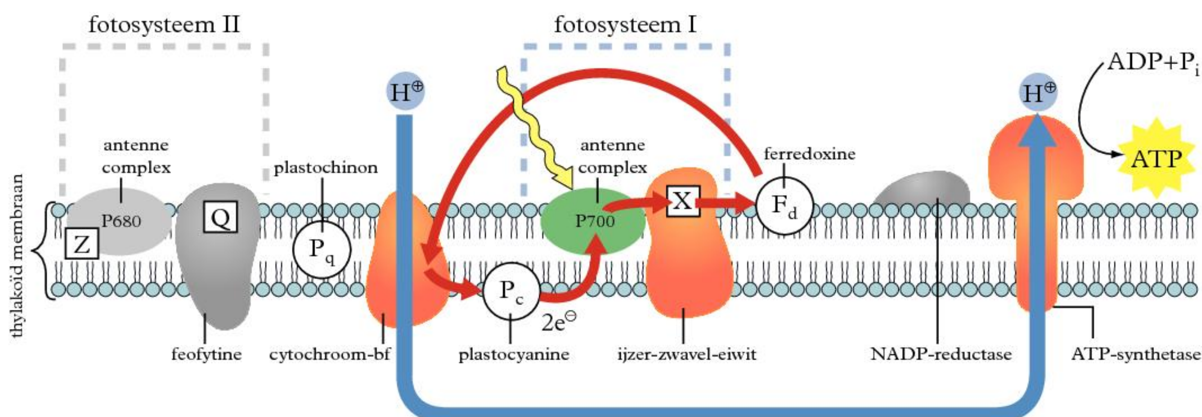


Z = elektronenacceptor met mangaan
Q = primaire elektronenacceptor met feofytine
X = primaire elektronenacceptor met ijzer-zwaveleiwit

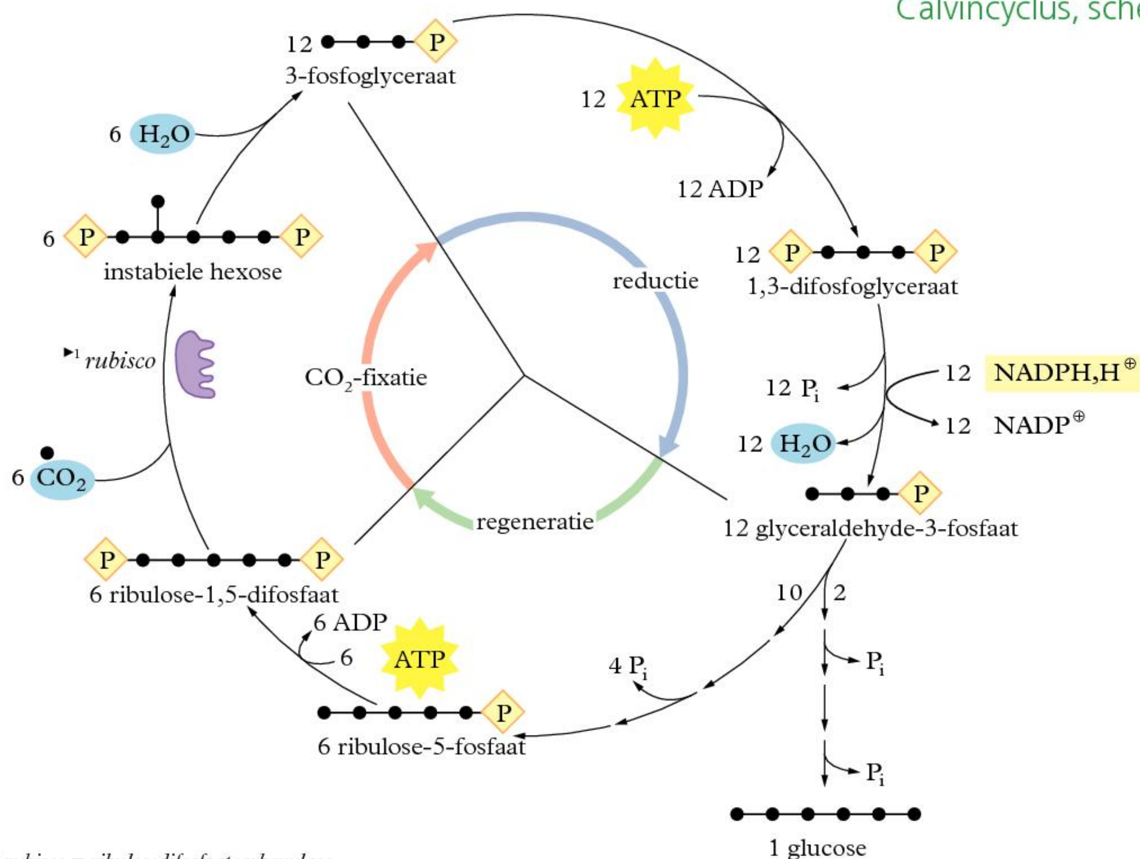
2 Niet-cyclische fotofosforylering: membraanreacties



3 Cyclische fotofosforylering: membraanreacties

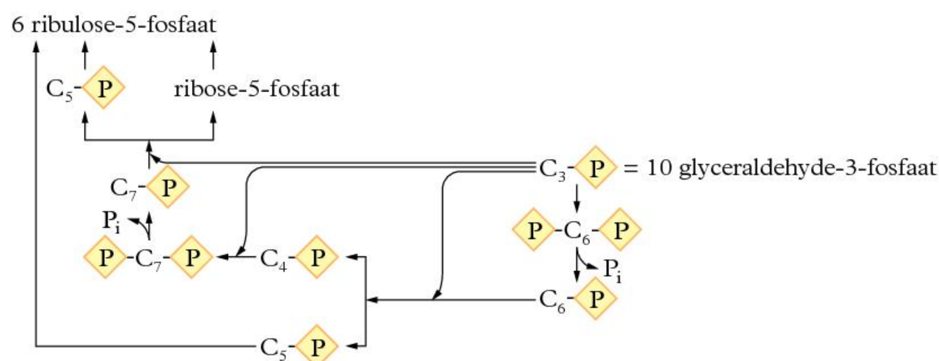


Calvincyclus, schema 1



1 ► *rubisco = ribulosedifosfaatcarboxylase*

Reactieschema regeneratie 2

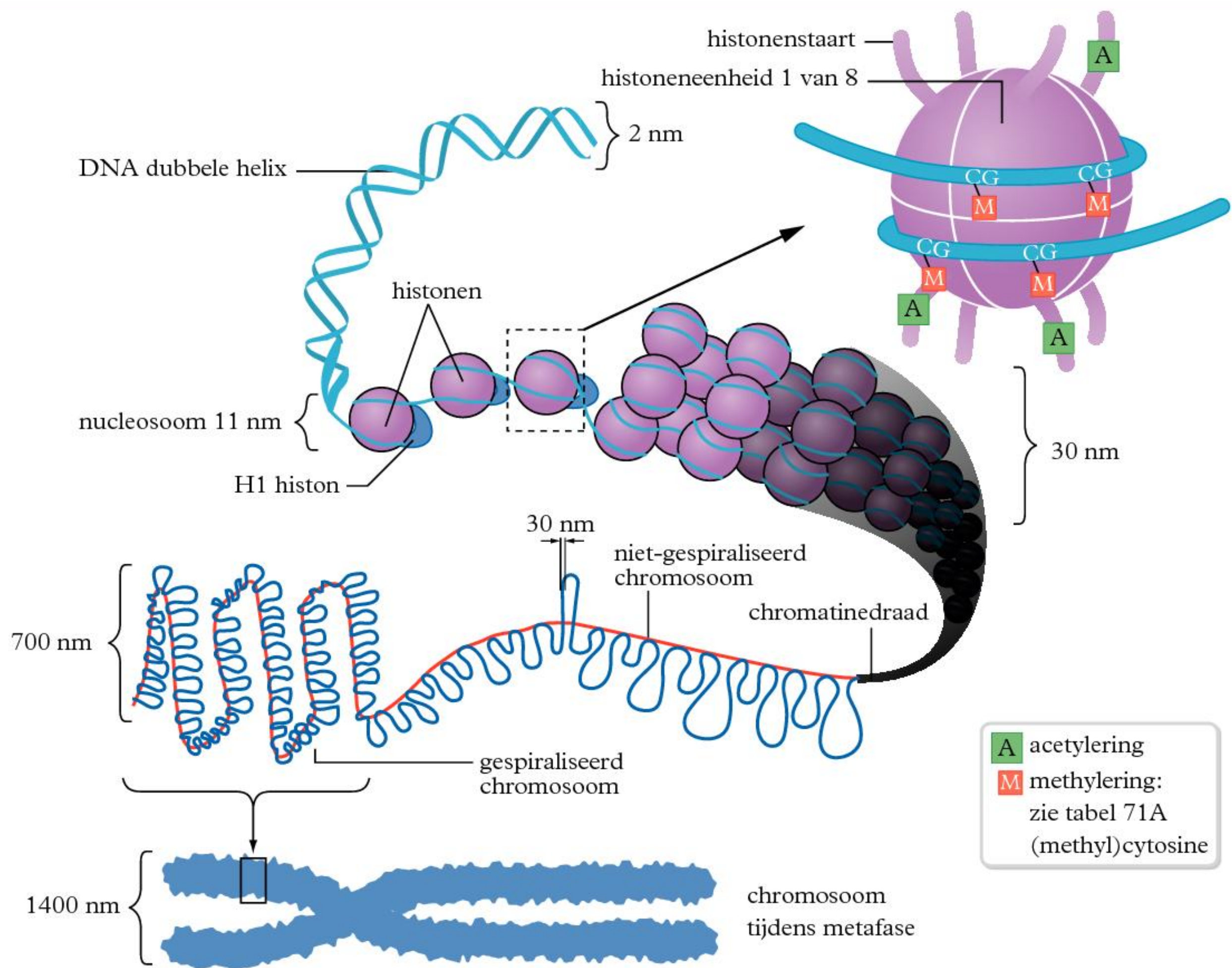


Chemosynthese D

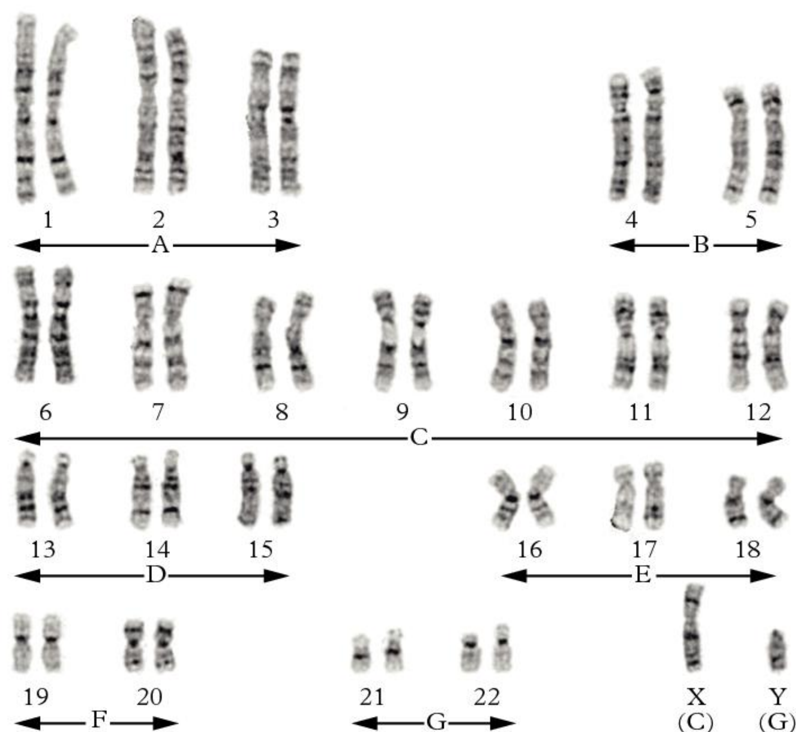
chemo-autotrofen	*reactie(s)*
zwavelbacteriën o.a. Thiobacilli	$S^{2-} + 2\,O_2 \rightarrow SO_4^{2-}$ + energie / 8 elektronen overdracht $2\,S + 6\,H_2O + 3\,O_2 \rightarrow 2\,SO_4^{2-} + 4\,H_3O^+$ + energie / 12 elektronen overdracht $S_2O_3^{2-} + 3\,H_2O + 2\,O_2 \rightarrow 2\,SO_4^{2-} + 2\,H_3O^+$ + energie / 8 elektronen overdracht
nitrietbacteriën o.a. Nitrosomonas	$2\,NH_4^+ + 3\,O_2 + 2\,H_2O \rightarrow 2\,NO_2^- + 4\,H_3O^+$ + energie / 12 elektronen overdracht
nitraatbacteriën o.a. Nitrobacter	$2\,NO_2^- + O_2 \rightarrow 2\,NO_3^-$ + energie / 4 elektronen overdracht
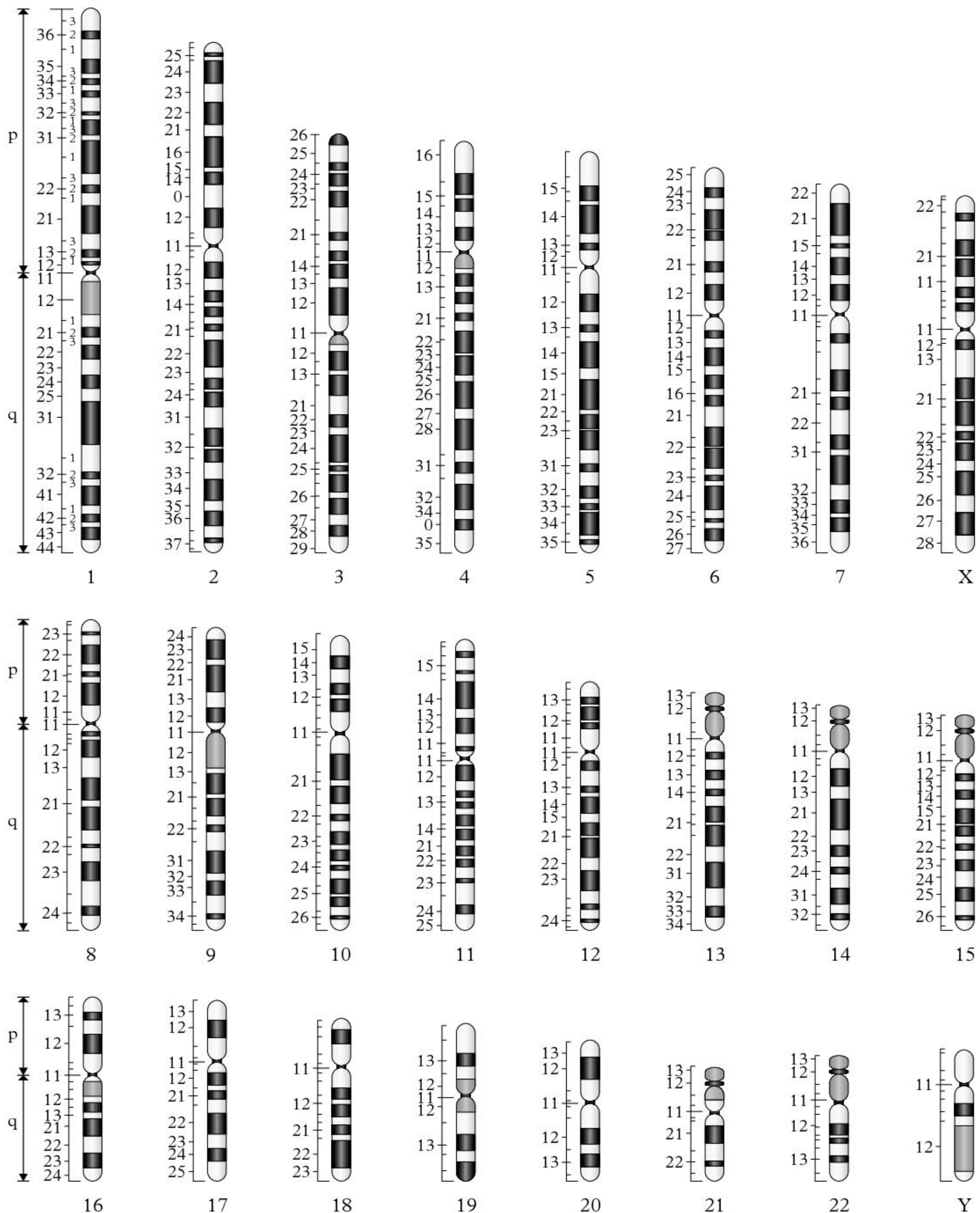
70 Chromosomen van de mens

A Structuur van een chromosoom



B Karyogram

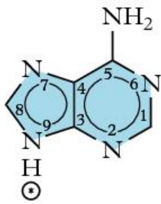




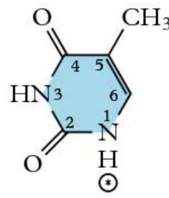
■ Het bandenpatroon berust op verschillende kleurmethoden.
p = korte arm
q = lange arm

gencode	*omschrijving*	*plaats in genoom*
CASP9	caspase 9	1p36.21
RHCE	rhesusfactor	1p36.11
AMY1A, AMY2A	speeksel-, alvleesklieramylase	1p21
ACTA1	actine	1q42.13, 10q23.3
LCT	lactase	2q21
G6PC2	glucose-6-fosfatase	2q24.3
HOXD-serie	morfogenese	2q31
DFNB59, DFNB31	erfelijke doofheid	2q31.2, 9q32-34
CASP8	caspase 8	2q33-34
GCG	glucagon	2q36.37
HRH1	histaminereceptor	3p25
RHO	rhodopsine	3q21-24
ADH (serie genen)	alcoholdehydrogenase(n)	4q23-24
IL2	interleukine 2	4q26-27
MN	MN-bloedgroep	4q28-31
TERT	telomerase reverse transciptase	5p15.33
HDAC3	histondeacetylase	5q31
CD74	MHC klasse II	5q32
DRD1	dopaminereceptor	5q35.1
DRB3	mutant: diabetes mellitus type 1	6p21.3
ESR1	oestrogeenreceptor	6q25.1
TASR16	bittere-smaakreceptor	7q31
CFTR	mutant: taaislijmziekte	7q31.2
OPN1SW	opsine (blauw gevoelig)	7q32.1
SFTPC	longsurfactant	8p21
LPL	lipase	8p22
AB0	AB0-bloedgroep	9q34
MYO3a	myosine (een soort)	10p11.1
LIPF	maaglipase	10q23.3
PNLIP	alvleesklierlipase	10q26
INS	insuline	11p15.5
HBB	γ-hemoglobine	11p15
FSHB en CAT	FSH en katalase	11p13
APOA	apolipoproteïne (bloedlipiden)	11q23
MDM3	P53-remmer	12q14
PAH	PKU-keten	12q22-24.2
BRCA2	borstkanker	13q12.3
F7, F10	stollingsfactoren 7 en 10	13q34
ESR2	oestrogeenreceptor 2	14q23.2
IGH*	immunoglobuline: zware keten	14q32.33
OCA2	oculocutaan albinisme (huid+oog)	15q
DYXICI	dyslexie	15q21.3
TPSAB1 en DNASSE1	tryptase en deoxyribonuclease	16p13.3
FTO	obesitasrisicofactor	16q12.2
POLR2a	RNA-polymerase II (grootste eenheid)	17p13.1
TP53	apoptose-eiwit P53	17p31.1
GAST en BRCA1	gastrine en mutant: borstkanker	17q21
GH1,GH2	groeihormoon	17q24.2
MYP6	bijziendheid	18p11.31
LDLR	familiaire hypercholesterolemie	19p13.2
BMIQ6	lichaamsvet index	20p11.2
APP	mutant: Alzheimer	21q21.3
SF3A1	splicing factor 3a	22q12.2
DMD	mutant: veroorzaker Duchenne	Xp21.2
AR	testosteronreceptor	Xq12
OPN1LW	opsine (rood/groengevoelig)	Xq28

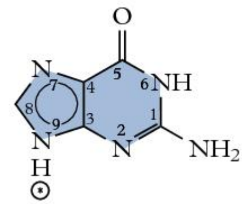
Nucleïnebasen, structuurformules A



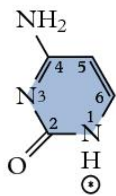
adenine (A)



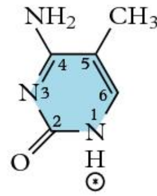
thymine (T)



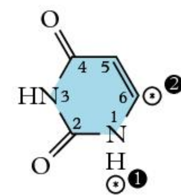
guanine (G)



cytosine (C)



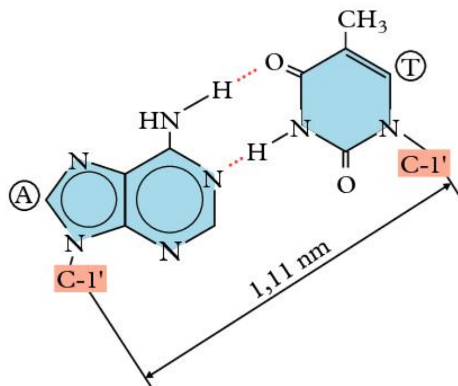
methylcytosine

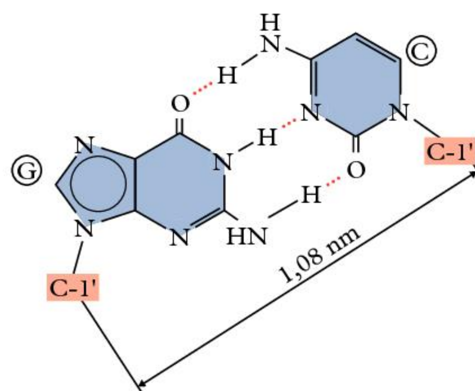


❶ uracil (U)
❷ pseudoüracil (Ψ)

■ ⊙ = aanhechtingsplaats aan ribose of deoxyribose

Basenkoppels B



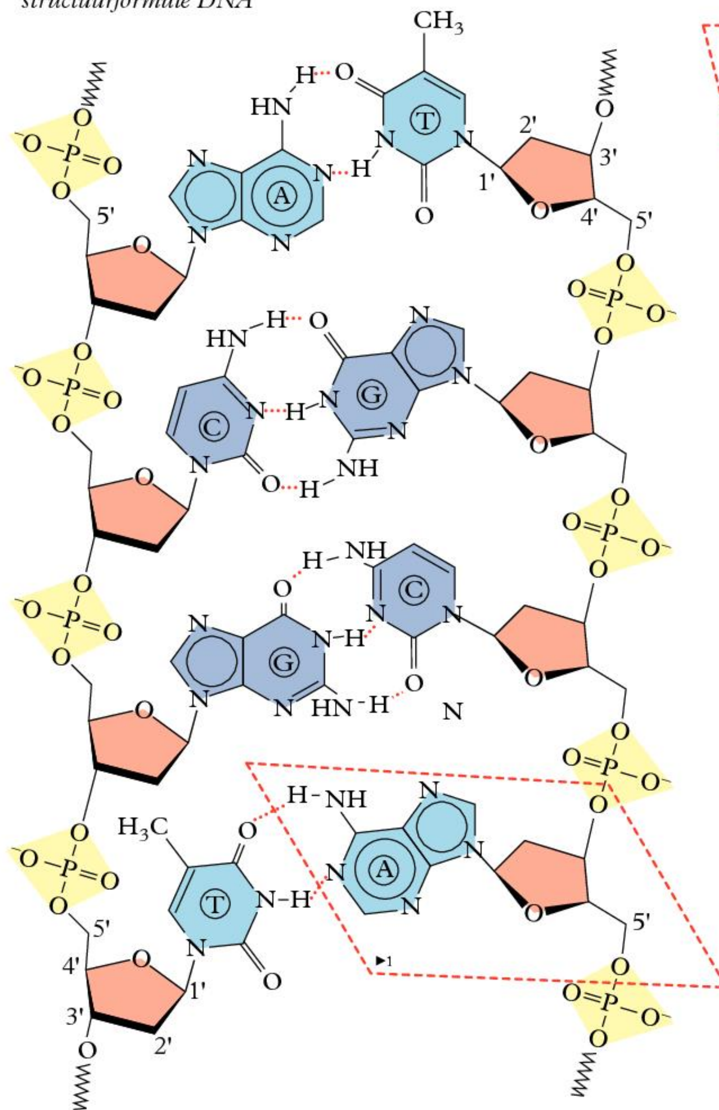


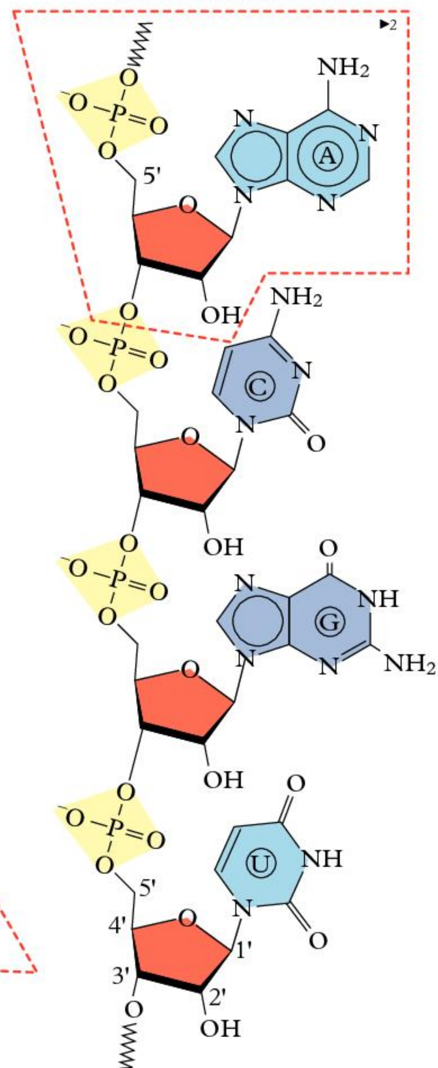
De binding tussen adenine en thymine in DNA; er zijn twee H-bruggen.

De binding tussen guanine en cytosine in DNA; er zijn drie H-bruggen.

■ In RNA neemt de base U de plaats in van de base T in DNA.

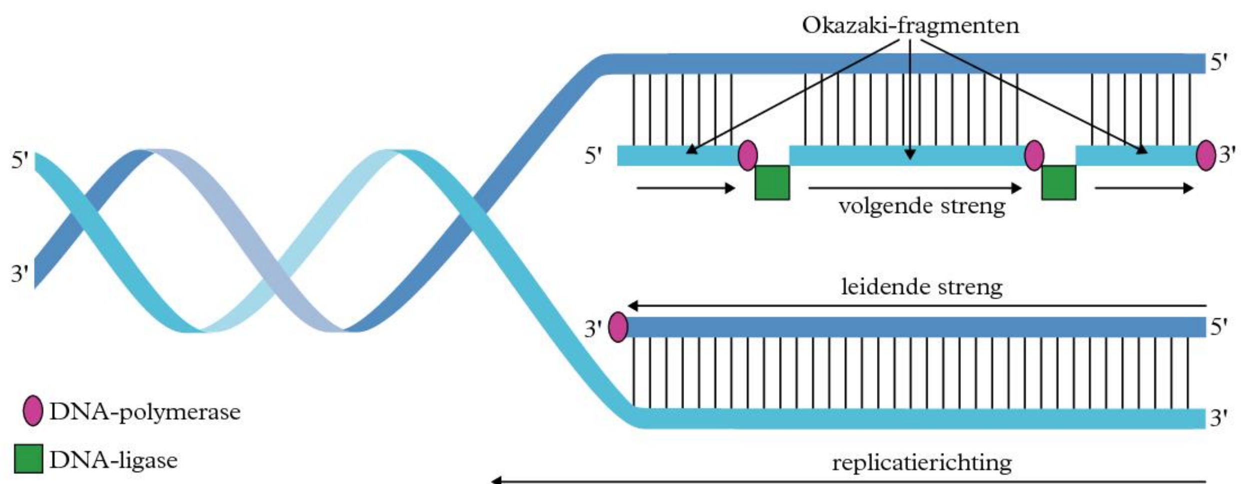
C Bouw van DNA en RNA



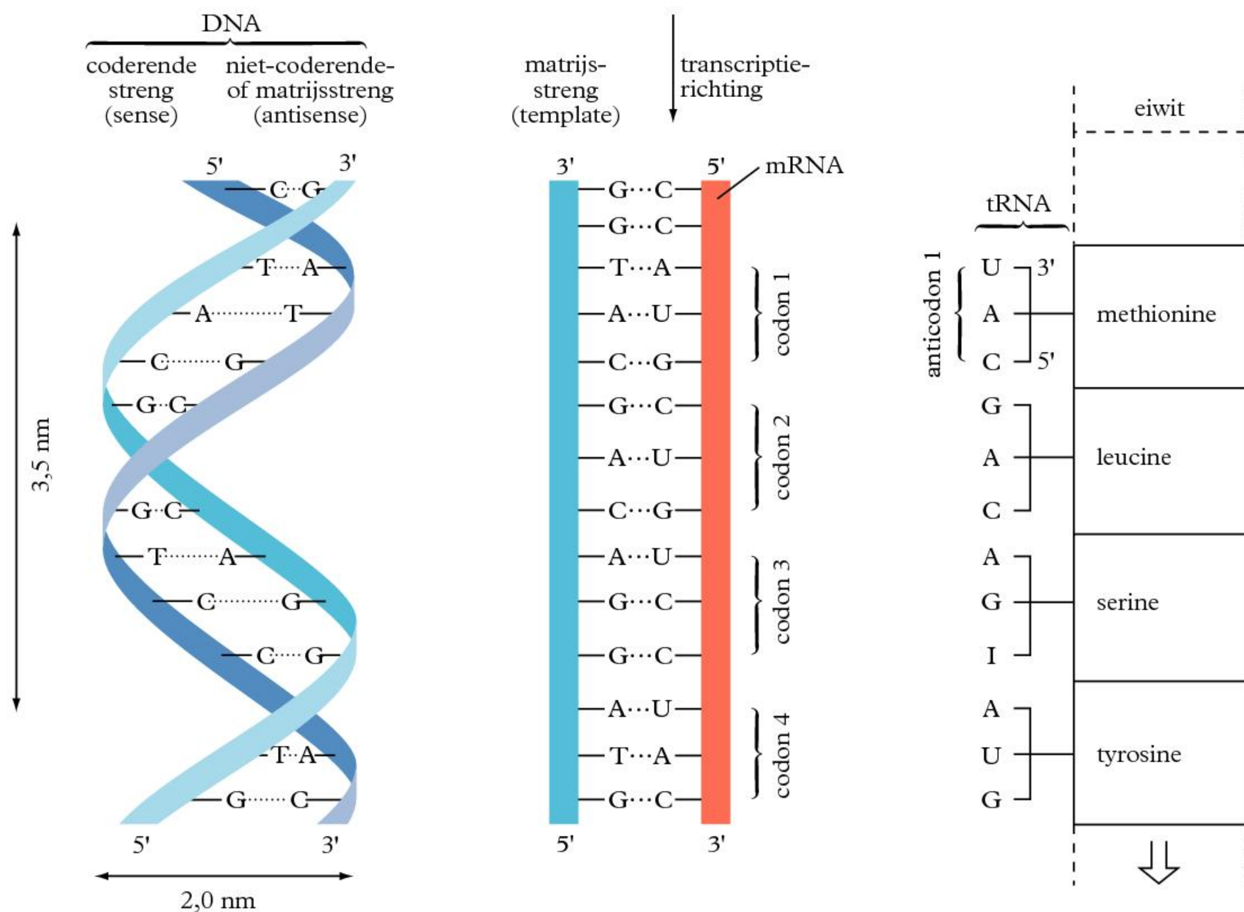


1 ▶ nucleoside
2 ▶ nucleotide

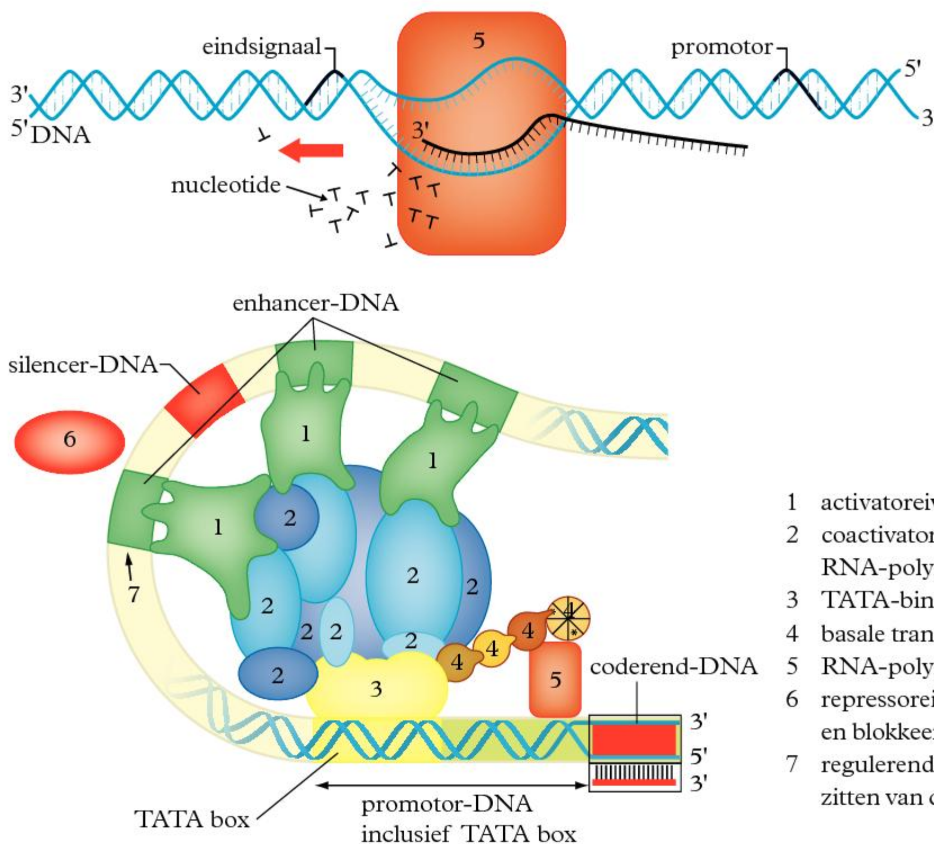
D Schema replicatie



Transcriptie en translatie E



Schema regeling transcriptie F



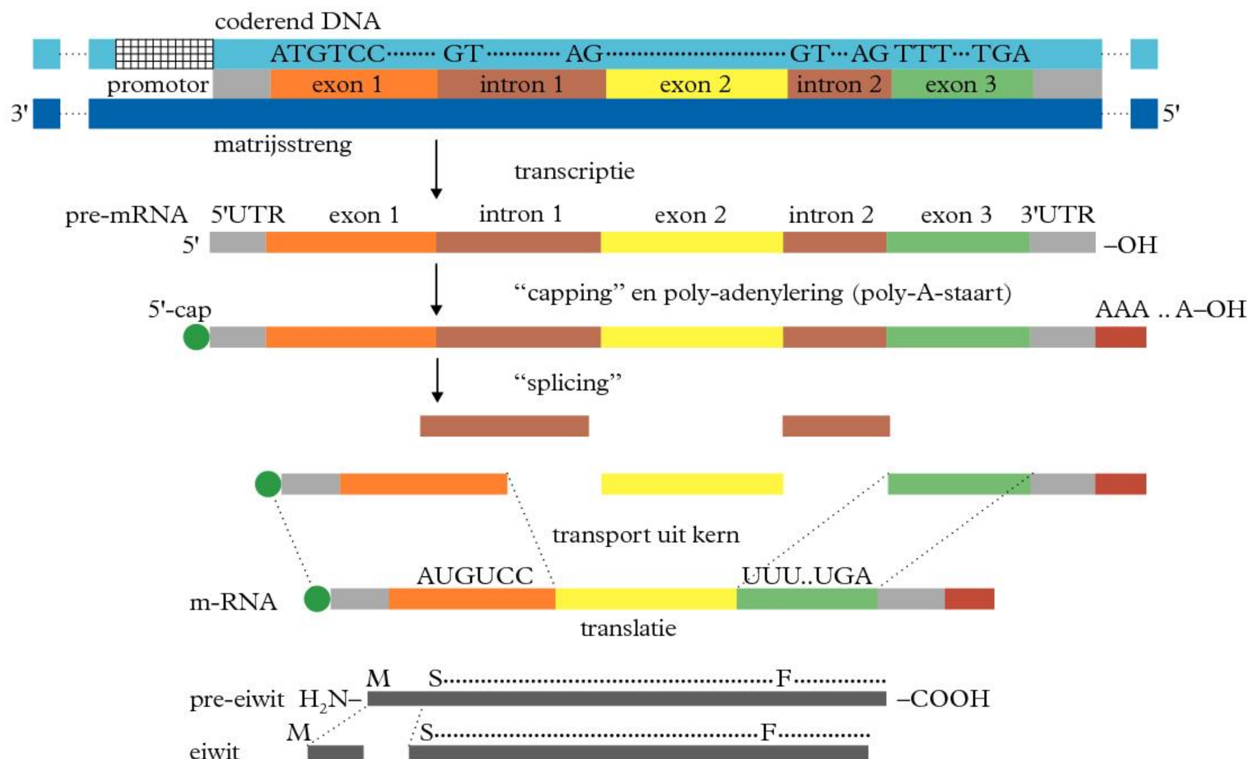
1 activatoreiwitten, specifiek voor een gen
2 coactivatoreiwitten, algemeen voor één RNA-polymerasetype
3 TATA-bindende transcriptiefactor
4 basale transcriptiefactoren
5 RNA-polymerase (II)
6 repressoreiwit: kan aan silencer binden en blokkeert daarmee activatorbinding
7 regulerend DNA: kan op grote afstand zitten van de TATA-box

	aminozuren	*symbolen*		*codons in het m-RNA*	*opmerkingen geldend bij de mens*
1	Alanine	Ala	A	GCA, GCG, GCU/C	U/C = *w*= wiebelbase 100% gelezen door t-RNA CGI
2	Arginine	Arg	R	AGA, AGG, CGA, CGG, CGU/C	*w* 100% gelezen door t-RNA GCI
3	Asparagine	Asn	N	AAU/C	*w* ±97% gelezen door t-RNA UUG
4	Asparaginezuur	Asp	D	GAU/C	*w* 100% gelezen door t-RNA CUG
5	Cysteïne	Cys	C	UGU/C	*w* 100% gelezen door t-RNA ACG
6	Glutamine	Gln	Q	CAA, CAG	
7	Glutaminezuur	Glu	E	GAA, GAG	
8	Glycine	Gly	G	GGA, GGG, GGU/C	*w* 100% gelezen door t-RNA CCG
9	Histidine	His	H	CAU/C	*w* 100% gelezen door t-RNA GUG
10	Isoleucine	Ile	I	AUA, AUU/C	*w* ±92% gelezen door t-RNA UAA
11	Leucine	Leu	L	UUA, UUG, CUA, CUG, CUU/C	*w* 100% gelezen door t-RNA GAI
12	Lysine	Lys	K	AAA, AAG	
13	Methionine	Met	M	AUG	alleen in mitochondria ook AUA
14	Fenylalanine	Phe	F	UUU/C	*w* 100% gelezen door t-RNA AAG
15	Proline	Pro	P	CCA, CCG, CCU/C	*w* 100% gelezen door t-RNA GGI
16	Serine	Ser	S	UCA, UCG, UCU/C, AGU/C	2 x *w* resp 100% gelezen door t-RNA AGI, UCG
17	Threonine	Thr	T	ACA, ACG, ACU/C	*w* 100% gelezen door t-RNA UGI
18	Tryptofaan	Trp	W	UGG	alleen in mitochondria ook UGA
19	Tyrosine	Tyr	Y	UAU/C	*w* ±90% gelezen door t-RNA AUG
20	Valine	Val	V	GUA, GUG, GUU/C	*w* 100% gelezen door t-RNA CAI
	startcodon	Met	M	AUG	vaak na eiwitvoltooiing weer afgekoppeld
	stopcodons	stop		UAA, UAG, UGA	alleen in mitochondria ook AGA en AGG, maar UGA is daarin geen stopcodon

■ I in t-RNA=inosine

eerste base	*tweede base*				*derde base*
5' einde	**U**	**C**	**A**	**G**	3' einde
U	F	S	Y	C	U of C
	L	S	stop	stop	A
	L	S	stop	W	G
C	L	P	H	R	U of C
	L	P	Q	R	A of G
A	I	T	N	S	U of C
	I	T	K	R	A
	M start	T	K	R	G
G	V	A	D	G	U of C
	V	A	E	G	A of G

■ Structuurformules van de aminozuren: zie tabel 67H1.

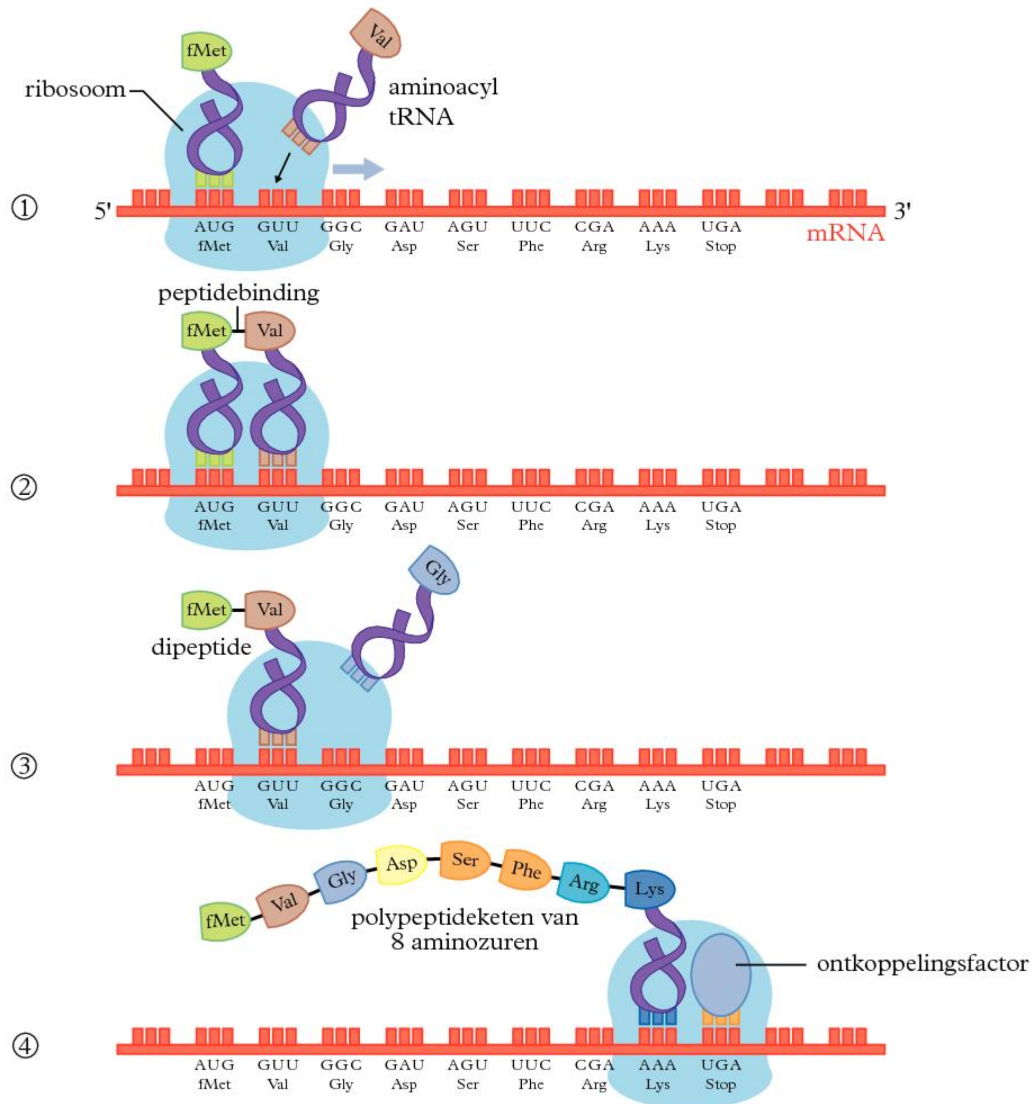


- UTR Untranslated region en poly-A-staart: regulerende functie; cap stabiliserende functie
- Grootste aantal exonen per gen bij de mens: 363, langste menselijk exon: 7600 basen, langste menselijk intron: ~800 000 basen

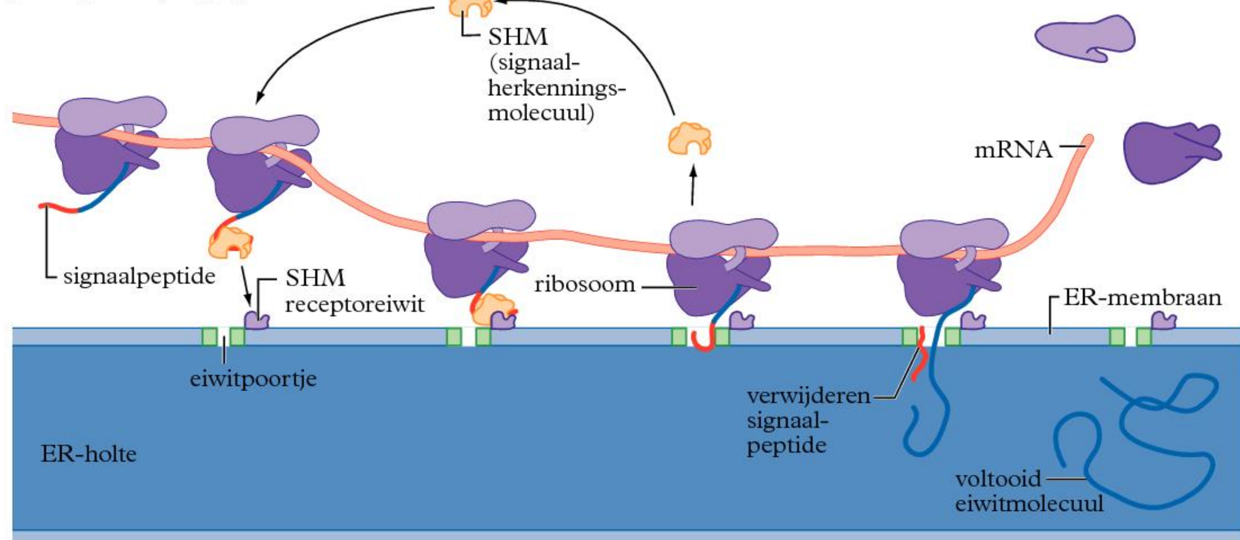
DNA-reparatie I

type schade	*reparatie* ►1	*bijzonderheden* ►2
verkeerde base enkelvoudige ketenbreuk	basevervangingsreparatie (BER)	veel mechanismen - meest voorkomende relatief eenvoudige reparatie
fout in nucleotidenstructuur	nucleotidevervangingsreparatie (NER)	relatief eenvoudige reparatie
DNA dubbele breuk Verkeerde verbinding tussen de twee ketens	recombinatiereparatie	reparatie is moeilijker - grotere kans op mislukking
A-G fout C-T fout deletie insertie	mismatchreparatie (MMR)	reparatie is moeilijker - grotere kans op mislukking
indien aangeboren: puntmutatie, chromosoommutatie deletie of insertie	geen	erfelijke ziekte zoals: taaislijmziekte (CF) - puntmutatie: Xeroderma pigmentosa: NER werkt niet goed erfelijke darmkanker: MMR werkt niet goed

1 ► In verband met een controlesysteem zijn DNA-reparaties altijd complexe reacties met vele eiwitten.
2 ► Niet-repareerbaar DNA leidt of tot apoptose, of tot veroudering van DNA met kans op begin van kanker.



■ fMet = methionine aan het begin van de peptideketen



Soorten RNA 1

afkorting	*type RNA*
mRNA	messenger RNA
tRNA	transport RNA
rRNA	ribosomaal RNA
miRNA	micro RNA
snRNA	small nuclear RNA

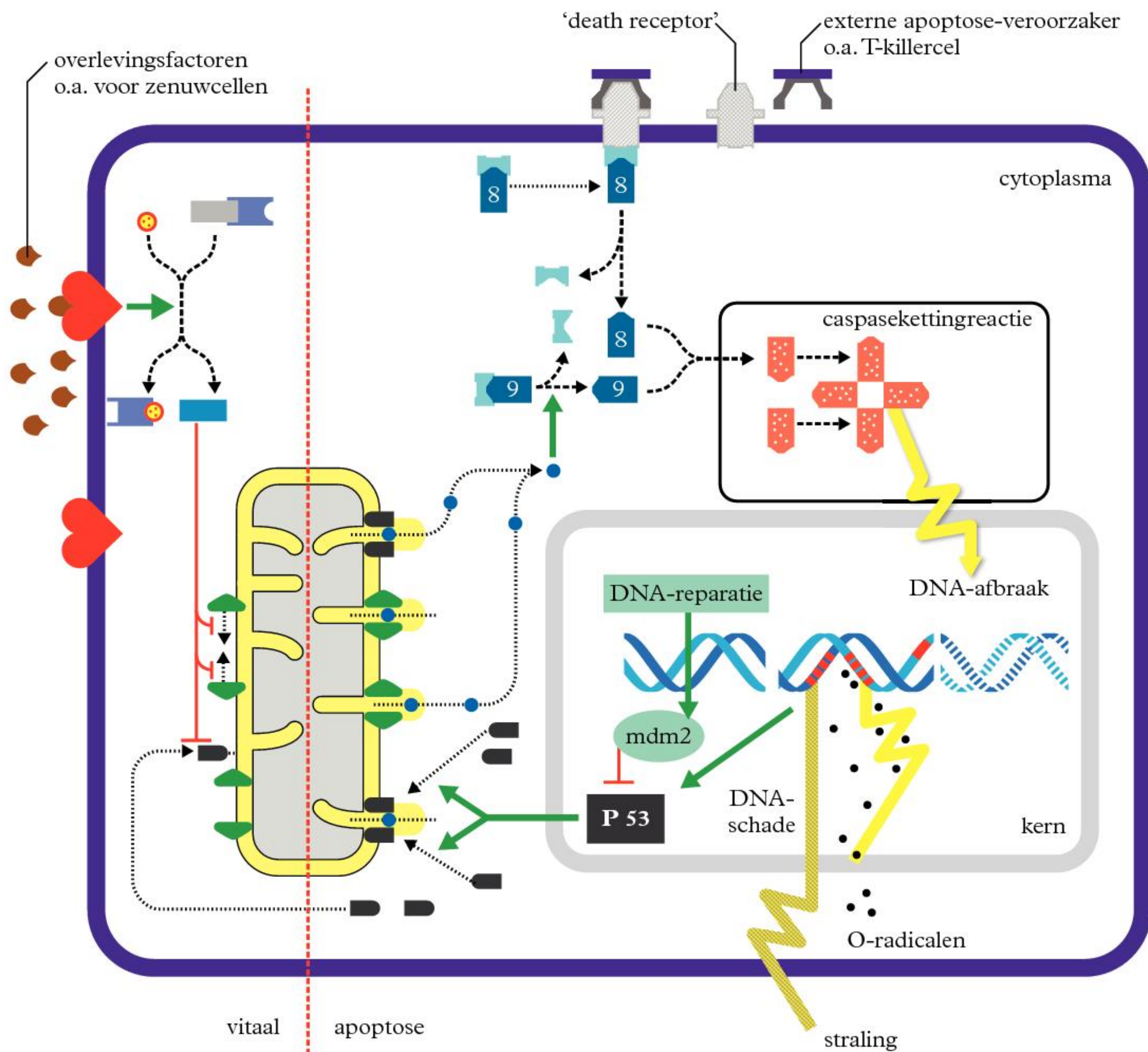
afkorting	*type RNA*
snoRNA	small nucleolar RNA
aRNA	antisense RNA
	telomerase RNA
siRNA	small interfering RNA
RNAi	interferentie RNA

Structuren van tRNA 2

tRNA, algemeen

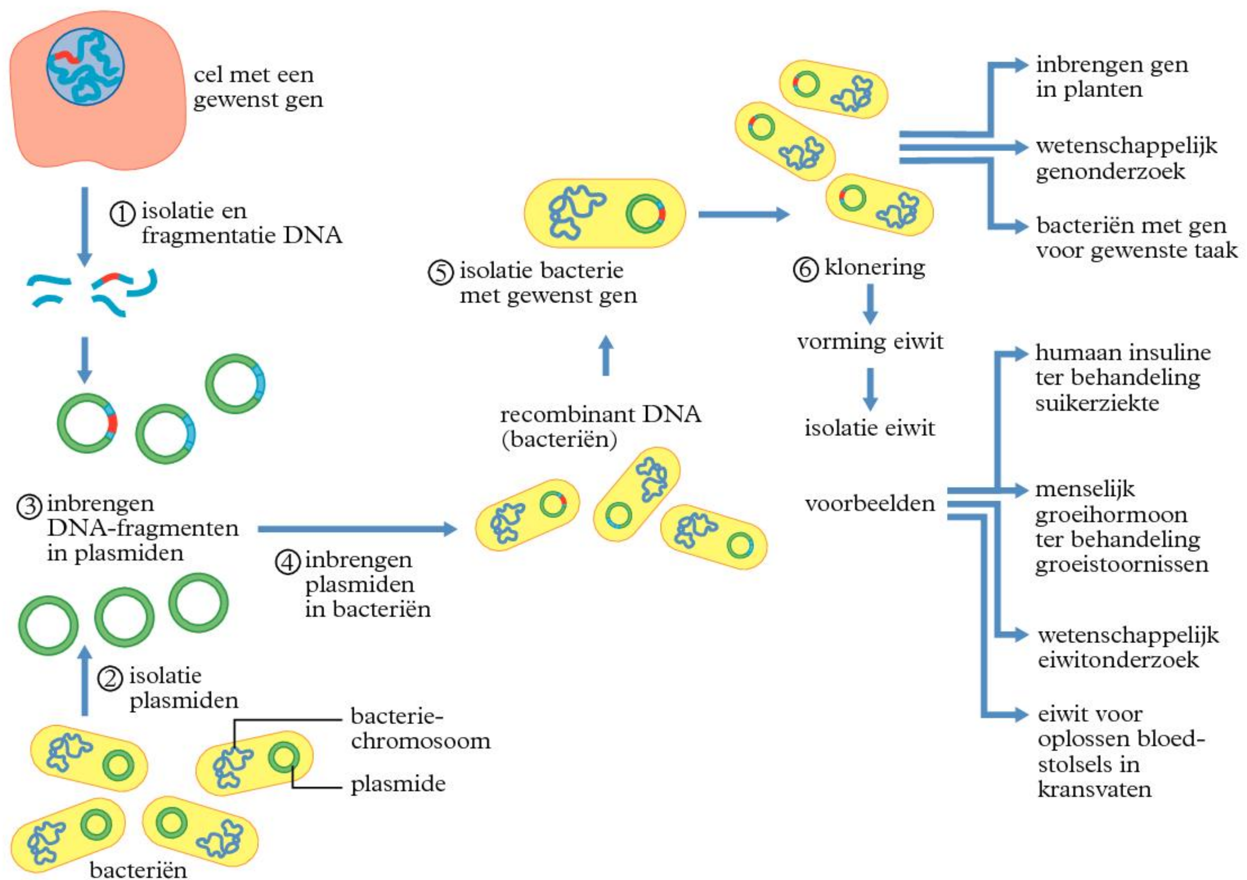
tRNA van fenylalanine (gistcel)

symbolen	*verklaring*
I, II, III en IV	'lussen' (gebieden zonder basenparing)
a, b, c, d en e	helixgebieden (met basenparing), of 'armen'
o	nucleotiden; basenparing is aangegeven met een puntlijn
R en Y	purine- en pyrimidinenucleotiden
T en Ψ	ribothymidine en pseudoüridine
⋆	gewijzigde base
n1, n2, n3 en n4	resp. 0-1, 1-3, 1-3 en 0-2 nucleotiden in dihydroüracil-lus

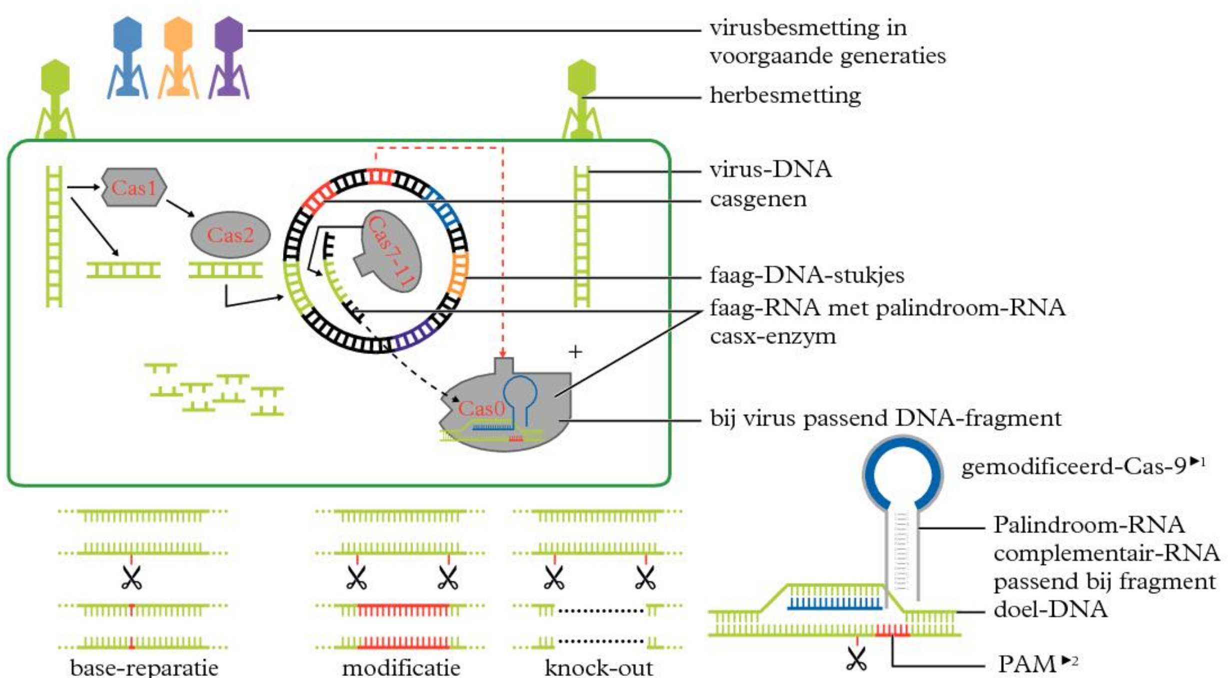


Bad, activator
Bcl-2, apoptoseremmer
inactief BCL-2
Bak, geeft als groepje membraanlekkage
Bax, geeft als groepje membraanlekkage
cytochroom-c
actieve fosfaatgroep
adaptoreiwit
procaspase 8 of 9
caspase 8 of 9 veroorzaakt kettingreactie
diverse andere caspases
stimuleert
remt
proces
verplaatsing

Gebruik van plasmiden 1



Natuurlijke CRISPR-werking in een bacterie 2



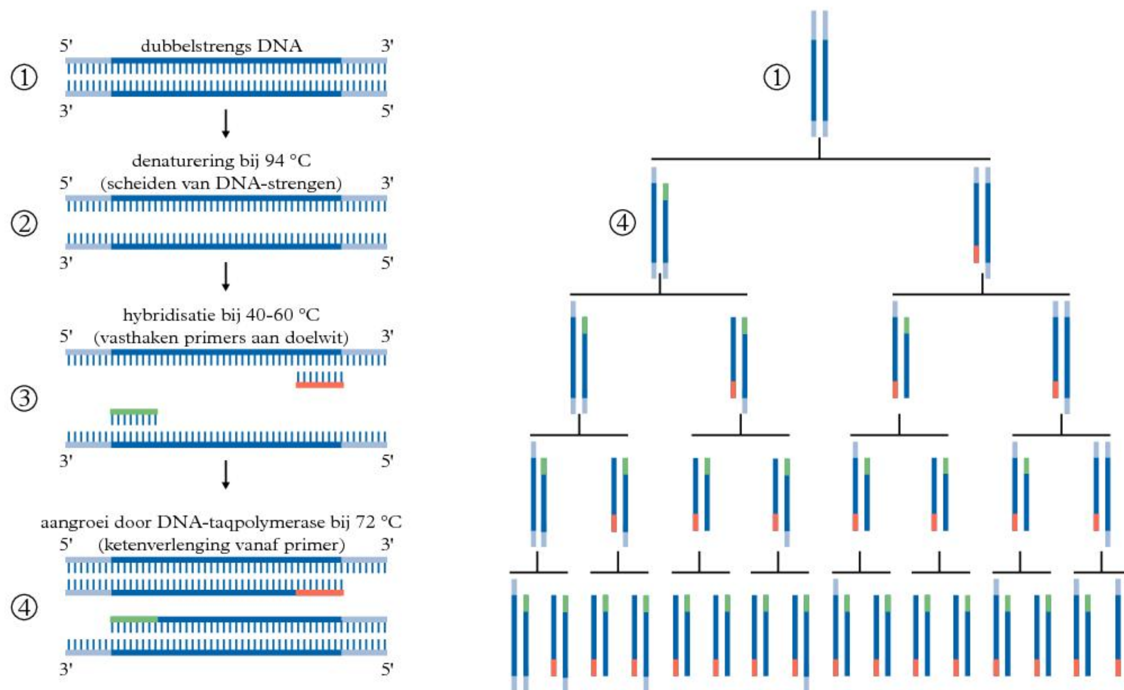
1 ► Biotechnologie: Cas9 is zo bewerkt dat het alle gewenste DNA-stukjes kan wegknippen en inbouwen.

2 ► PAM: een noodzakelijk stukje DNA voor knipvermogen.

71 DNA/RNA

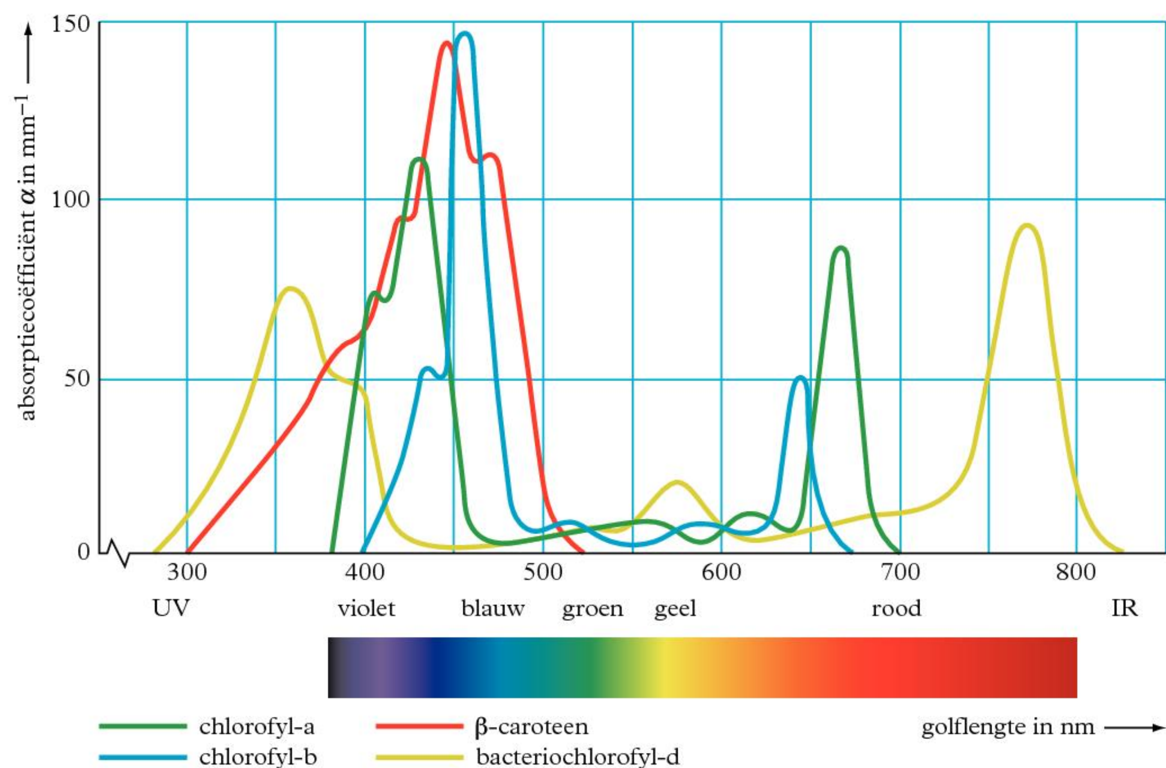
M DNA-techniek

3 Polymerase-kettingreactie (PCR-methode)



■ Bij deze techniek is een speciale warmtebestendige DNA-taqpolymerase nodig (taq = Thermus aquaticus).

72 Absorptiespectra van enkele fotopigmenten



■ $\alpha = \varepsilon\,[A]\,l$: zie tabel 37E.

Papierchromatografie met bladpigmenten 73

relatieve meeloopsnelheden in loopvloeistof petroleumether 92% / aceton 8%

pigment	Rf-*waarde*
β-caroteen	0,98
α-caroteen	0,78
luteïne (bladxanthofyl)	0,69
violaxanthol	0,55
chlorofyl-a	0,38
chlorofyl-b	0,21
andere pigmenten	0,00

pH-traject van enkele lichaamsvloeistoffen 74

lichaamsvloeistof	pH-*traject*
bloed	7,3 - 7,5
darminhoud	4,8 - 8,0
gal	6,8 - 7,0
maaginhoud	1,0 - 3,0
speeksel	6,5 - 7,5
urine	4,8 - 8,4
zweet	3,8 - 6,5

Osmotische waarden 75

gemeten bij $T = 293$ K en $p = p_0$

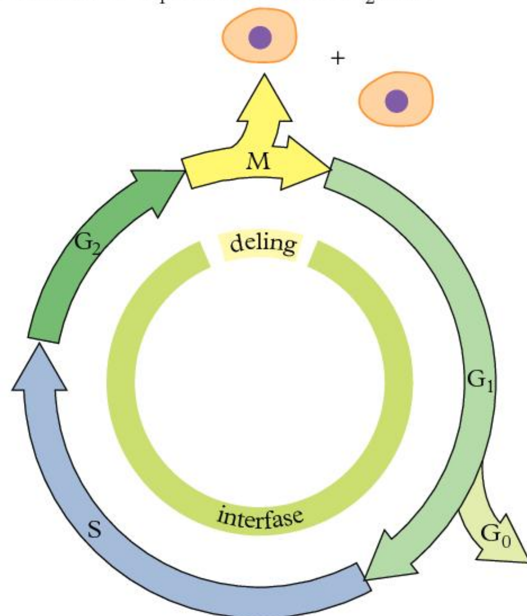
	massa in 100 g *water*	*concentratie*	*concentratie*	*osmotische waarde*
	g	g L^{-1}	10^{-3} mol L^{-1}	10^6 Pa
D-fructose / D-glucose	0,5	5,0	28	0,06
	1,0	10,0	56	0,13
	2,0	20,1	112	0,27
	3,0	30,3	168	0,42
	4,0	40,6	225	0,57
	5,0	50,9	282	0,71
	6,0	61,3	340	0,87
	7,0	71,8	398	1,03
	8,0	82,4	457	1,19
	9,0	93,1	516	1,35
	10,0	103,9	576	1,52
	15,0	159,0	881	2,46
NaCl	0,5	5,0	86	0,39
	1,0	10,1	172	0,77
	2,0	20,2	346	1,54
	3,0	30,6	523	2,34
	4,0	41,1	703	3,15
	5,0	51,7	885	3,96
	6,0	62,5	1069	4,76
	7,0	73,4	1256	5,53
	8,0	84,5	1445	6,29
ureum	1,0	10,0	167	0,40
	2,0	20,1	334	0,79
	3,0	30,2	503	1,20
	5,0	50,6	842	2,03
	10,0	102,5	1707	4,20
	15,0	155,9	2595	6,20
bloedplasma				0,74 (gemiddeld)

A Celcyclus

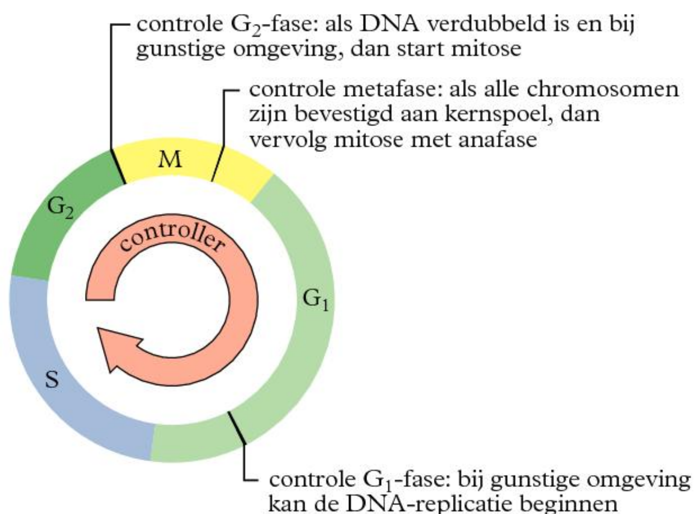
De vier fasen van een eukaryotische celcyclus

M = M-fase: mitose (celdeling)
G_1 = G_1-fase: stofwisseling en celgroei
S = S-fase: DNA-replicatie (DNA-synthese)
interfase = G_1-fase + S-fase + G_2-fase

G_2 = G_2-fase: stofwisseling en celgroei, synthese van membranen en andere organellen
G_0 = G_0-fase: cellen delen (een lange periode) niet meer



Controle van de celcyclus

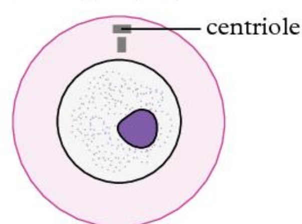


■ Bij een menselijke cel in celkweek duurt de interfase 23 à 24 uur en de M-fase 1 uur.

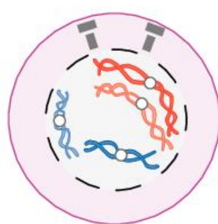
B Mitose en meiose

1 Mitose

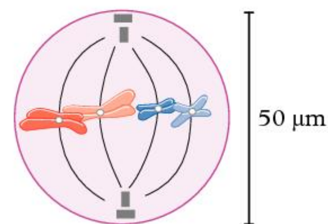
① *interfase* (2n)



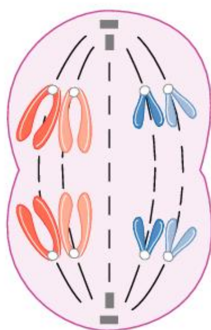
② *profase*



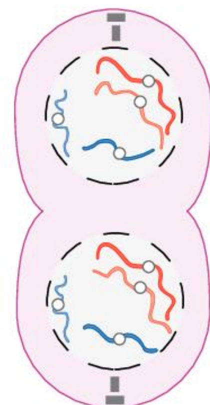
③ *metafase*



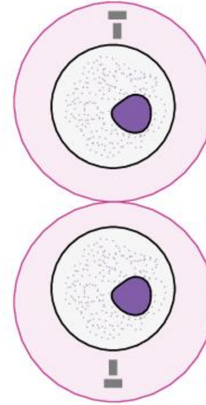
④ *anafase*



⑤ *telofase en cytokinese*



⑥ *interfase* (2n)

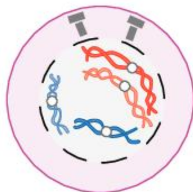


Meiose I; met crossing-over 2

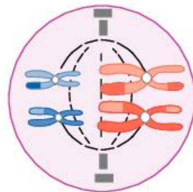
① *interfase* (2n)



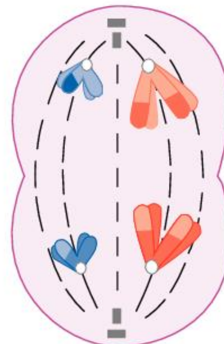
② *vroege profase I*



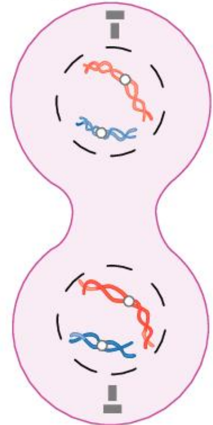
③ *metafase I*



④ *anafase I*

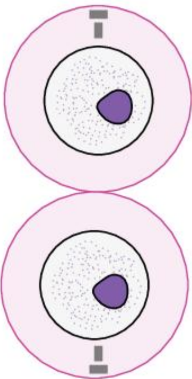


⑤ *telofase I en cytokinese*

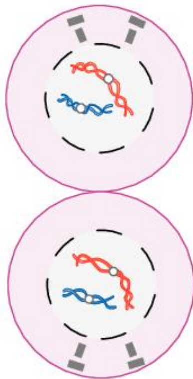


Meiose II 3

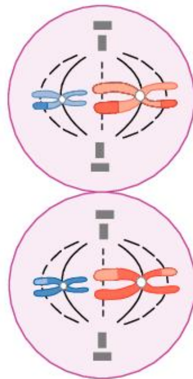
⑥ *interkinese* (n)



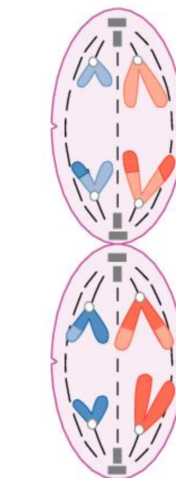
⑦ *profase II* (n)



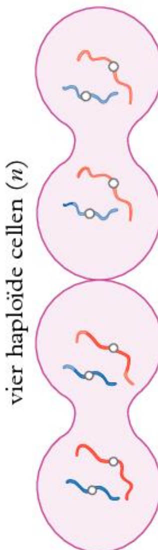
⑧ *metafase II*



⑨ *anafase II*



⑩ *telofase II en cytokinese* (n)



■ Voor rijping gameten; zie tabel 86D.

Telomeer van de mens 4

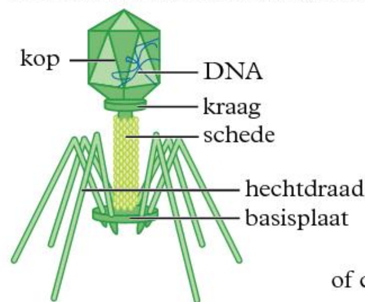


n maakt de herhaling 3000-20000 basen lang
In sterk delende weefsels blijft *n* op waarde door telomerase, een reverse transcriptase.

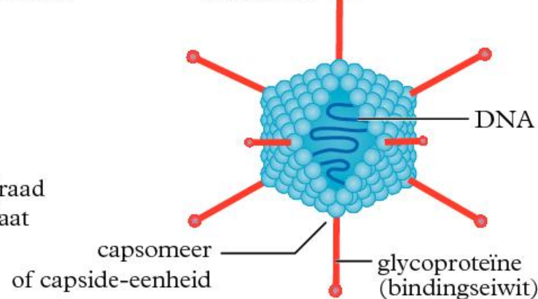
77 Virussen

A Enkele virusvormen

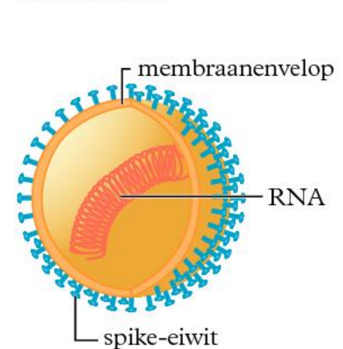
voorbeeld van een bacteriofaag (T-faag)



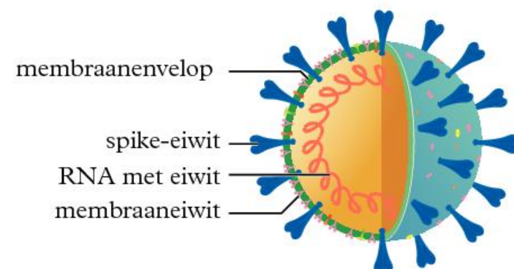
adenovirus



influenzavirus



coronavirus



grootte: (4 -)200 nm | 100 nm | 100 nm

B Indeling van virussen bij dieren (en de mens) naar type nucleïnezuur

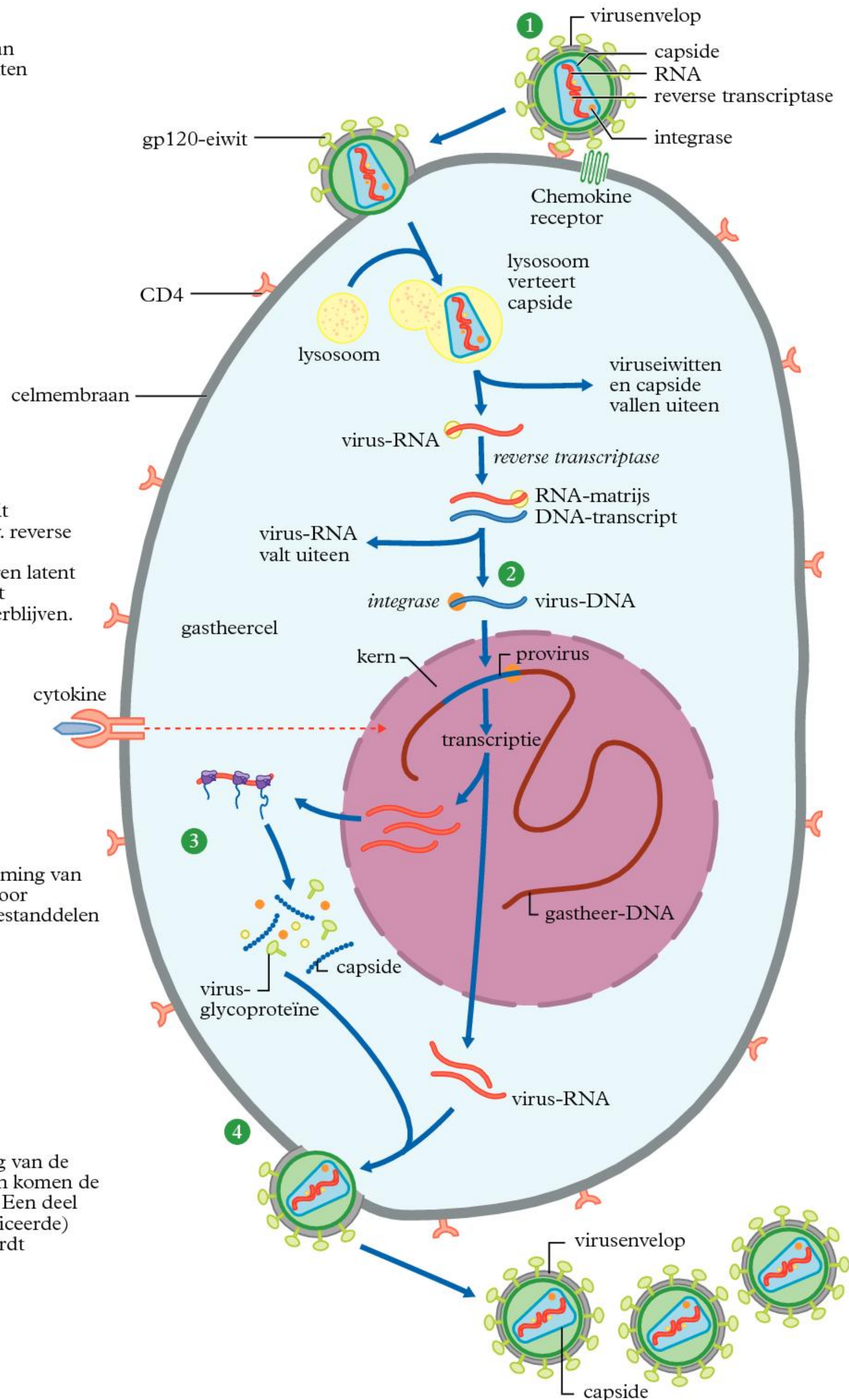
groep	*subgroep*	*voorbeelden/ziekten*
I. DNA (dubbelstrengs)	papovavirus	papilloma (menselijke wratten, baarmoederhalskanker); polyoma (tumoren in bepaalde dieren)
	adenovirus	ziekten van de luchtwegen; tumoren in bepaalde dieren
	herpesvirus	Herpes simplex I (koortsuitslag); Herpes simplex II (genitale zweren); Varicella zoster (waterpokken, gordelroos); Epstein-Barr-virus (ziekte van Pfeiffer, Burkitt's lymfoom)
	pokkenvirus	pokken; vaccinia (koepokken)
II. DNA (enkelstrengs)	parvovirus	roseola; de meeste parvovirussen zijn voor hun groei afhankelijk van infectie met adenovirussen
III. RNA (dubbelstrengs)	reovirus	diarree; milde ziekten van de luchtwegen
IV. RNA, kan dienen als mRNA	picornavirus	poliovirus; rhinovirus (verkoudheid); darmvirussen; MKZ-virus (mond- en klauwzeer)
	togavirus	rubellavirus (rodehondvirus); gelekoortsvirus; virussen die hersenontsteking veroorzaken
V. RNA, matrijs voor mRNA	rhabdovirus	rabiës (hondsdolheid)
	paramyxovirus	mazelen; bof
	orthomyxovirus	influenzavirussen (griepvirussen)
	coronavirus	Covid-19, SARS en MERS
VI. RNA, matrijs voor DNA-synthese	retrovirus	RNA-tumorvirussen (b.v. leukemievirussen); HIV (AIDS-virus)

1
Hechting virus aan oppervlakte-eiwitten

2
Vorming DNA uit virus-RNA m.b.v. reverse transcriptase.
Het DNA kan jaren latent als provirus in het gastheer-DNA verblijven.

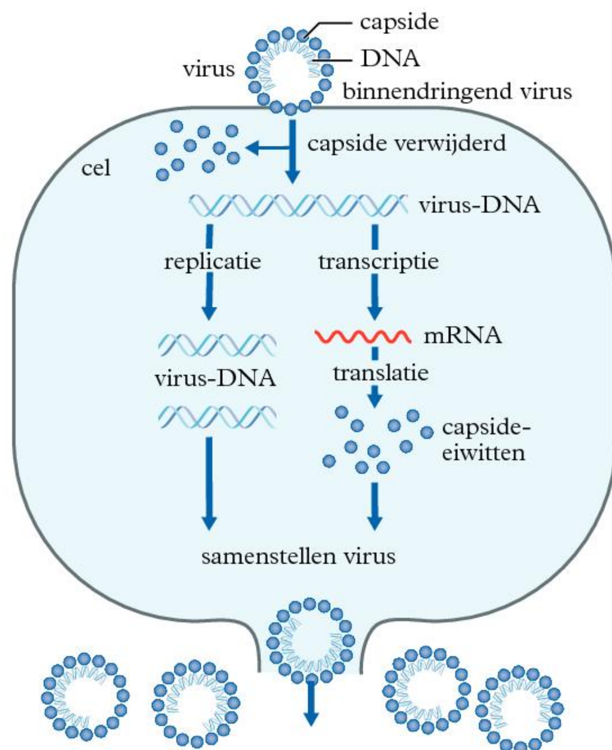
3
Na activering vorming van virus-RNA en (door translatie) virusbestanddelen

4
Na samenvoeging van de virusbestanddelen komen de virusdeeltjes vrij. Een deel van het (gemodificeerde) celmembraan wordt meegenomen als virusenvelop.



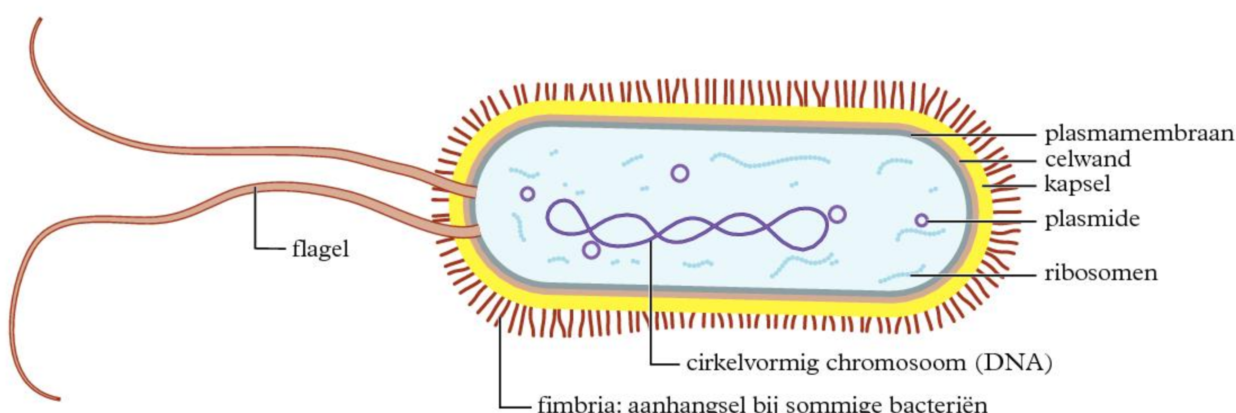
77 Virussen

D Cyclus DNA-virus



78 De vier rijken

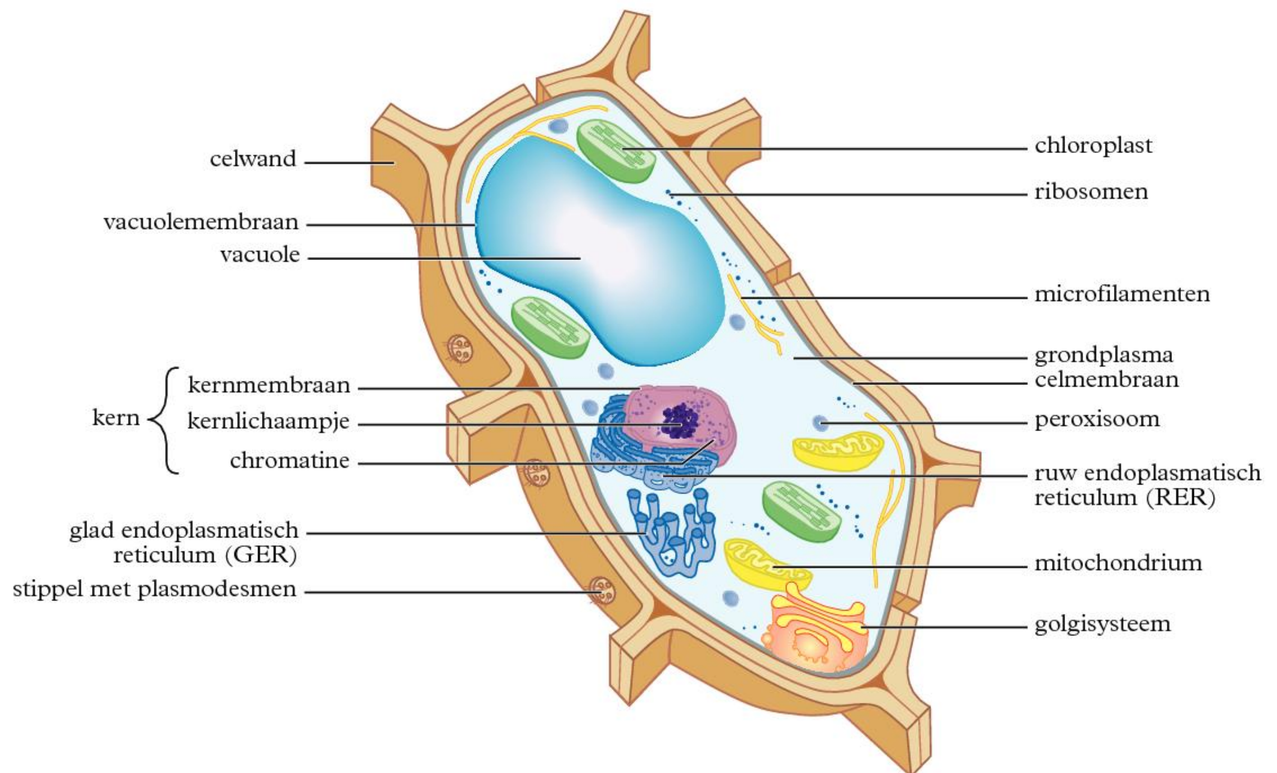
rijk	*voeding*	*grootte cellen*	*celkern*	*celwand*	*grote vacuole*
1 planten	autotroof, behalve enkele parasieten	10-100 µm	ja, eukaryoot	om elke cel	ja
2 dieren	heterotroof	10-100 µm	ja, eukaryoot	geen	nee
3 schimmels	heterotroof	10-100 µm	ja, eukaryoot	om elke cel	ja
4 bacteriën	heterotroof, sommige autotroof	1- 10 µm	nee, DNA vrij in grondplasma, prokaryoot	om elke cel	nee



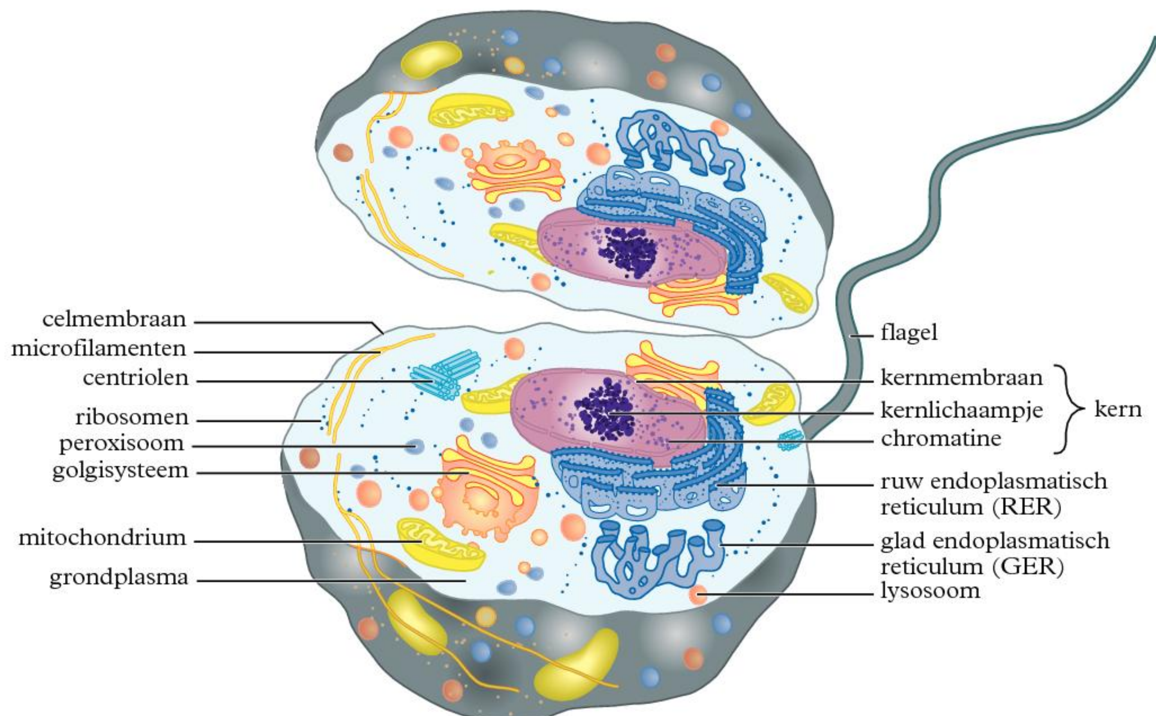
bacterievorm	*voorbeelden van geslachten*	*voorbeelden van soorten*	*belangrijkste kenmerken*
staafje	Bacillus	Bacillus subtilis	sporenvormende bacterie, veel gebruikt in het laboratorium
	Bacterium	Chlorobacterium spec.	fotosynthetiserende bacterie
		Clostridium botulinum	strikt anaerobe gram-positieve sporenvormende bacterie, veroorzaker van botulisme middels een zeer giftig toxine (botuline)
		Lactobacillus bulgaricus	melkzuur-(yoghurt-)vormende gram-positieve bacterie
		Listeria monocytogenes	gram-positief, overleeft in rauwmelkse producten, heeft flagel, veroorzaker listeriosis
		Escherichia coli	gram-negatieve darmbacterie, veel gebruikt in laboratoria en indicator voor (fecale) verontreiniging van oppervlaktewater (i.v.m. kwaliteit zwemwater); een veroorzaker van urineweginfecties
		Salmonella spec.	gram-negatief, veroorzaker van voedselvergiftiging via o.a. rauw vlees en kruisbesmetting, ernstige vormen zijn tyfus en paratyfus
vibrio	Vibrio	Bdellovibrio bacteriovorus	gram-negatieve endoparasiet van bacteriën, met hoge dissimilatiesnelheid
		Desulfovibrio desulfuricans	strikt anaerobe H_2S-vormende bacterie
		Vibrio cholerae	gram-negatieve verwekker van cholera
spiril	Spirillum	Thiospirillum jenense	purperen zwavelbacterie, fotosynthetiserende bacterie met H_2S als waterstofdonor
spirocheet	Spirochaeta	Spirochaeta plicatilis	saprofytische bacterie
		Treponema pallidum	veroorzaker van syfilis
		Leptospira icterohaemorrhagiae	veroorzaker van de ziekte van Weil
(mono)kok	Micrococcus	Methanococcus vanniellii	methaanvormende bacterie
		Ruminococcus flavefaciens	cellulose-afbrekende bacterie in de pens van herkauwers
diplokok	Diplococcus	Neisseria gonorrhoea	veroorzaker van gonorroe (druiper) (gram-negatief)
		Neisseria meningitidis	veroorzaker van hersenvliesontsteking (nekkramp)
tetrakok	Chroöcoccus	Chroöcoccus spec.	fotosynthetiserende cyanobacterie
	Sarcina		(zowel 1, 2 als 4 cellen bij elkaar)
streptokok	Streptococcus	Streptococcus lactis	melkzuurvormende bacterie (gram-positief)
		Streptococcus spec.	veroorzaker van roodvonk (gram-positief)
		Enterococcus faecalis	veroorzaker urineweginfecties (gram-positief)
stafylokok	Staphylococcus	Staphylococcus aureus	gram-positieve facultatief anaerobe bacterie, veroorzaker van voedselvergiftiging door toxine, ook bekend als de MRSA-bacterie in ziekenhuizen

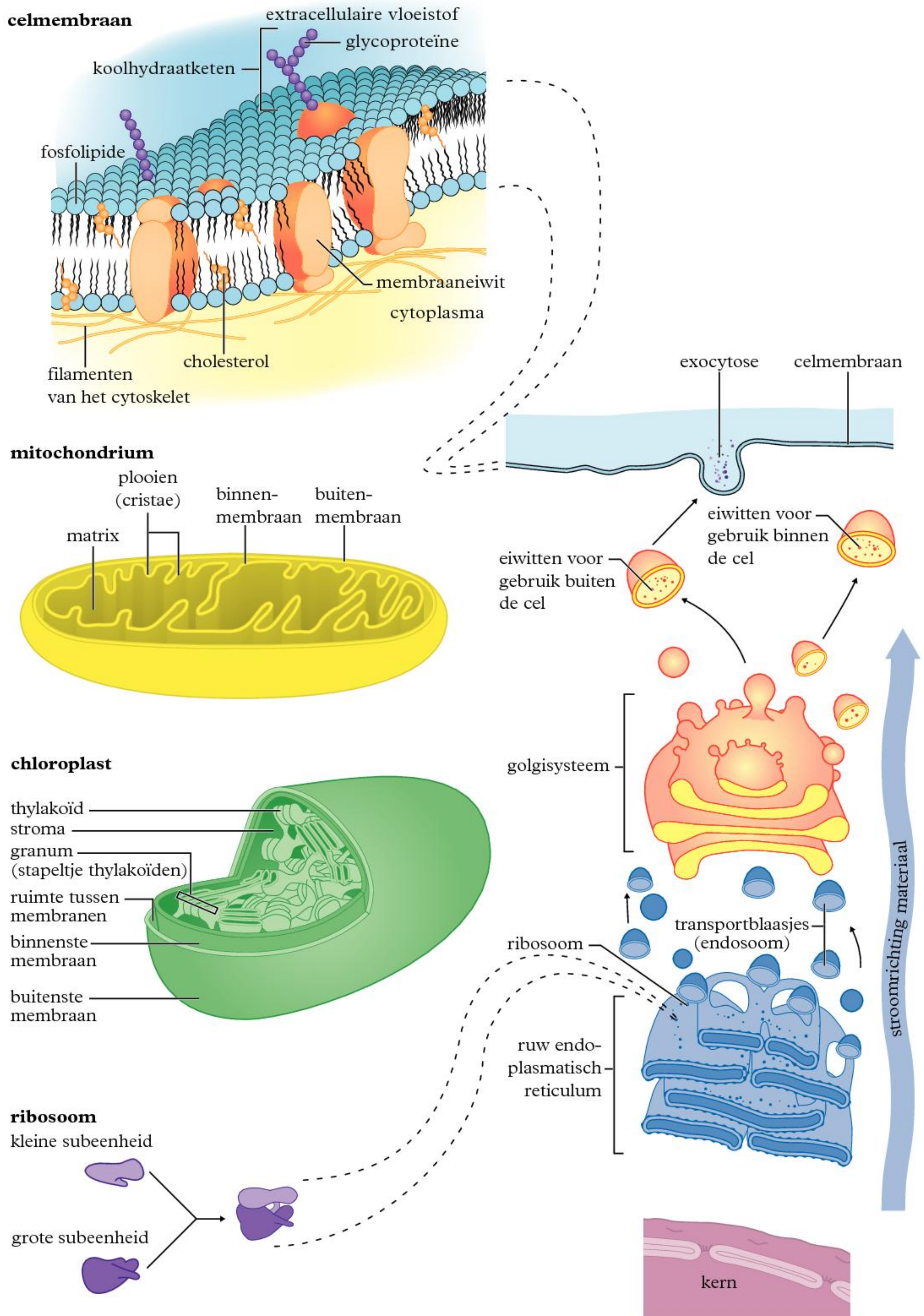
■ Bacteriën worden ingedeeld in gram-negatieve en gram-positieve bacteriën. Deze indeling betreft een kleuringsverschil door celwandverschillen, die passen bij gevoeligheid voor antibiotica. Gram-negatieve bacteriën zijn doorgaans resistenter.

B Plantaardige cel



C Dierlijke cel



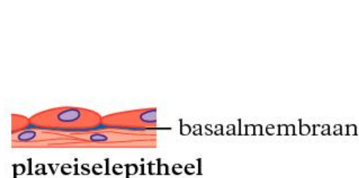

celmembraan
extracellulaire vloeistof
glycoproteïne
koolhydraatketen
fosfolipide
membraaneiwit
cytoplasma
cholesterol
filamenten
van het cytoskelet
mitochondrium
plooien
(cristae)
binnen-
membraan
buiten-
membraan
matrix
chloroplast
thylakoïd
stroma
granum
(stapeltje thylakoïden)
ruimte tussen
membranen
binnenste
membraan
buitenste
membraan
ribosoom
kleine subeenheid
grote subeenheid
exocytose
celmembraan
eiwitten voor
gebruik binnen
de cel
eiwitten voor
gebruik buiten
de cel
golgisysteem
transportblaasjes
(endosoom)
ribosoom
ruw endo-
plasmatisch
reticulum
stroomrichting materiaal
kern

80 Dierlijke weefsels

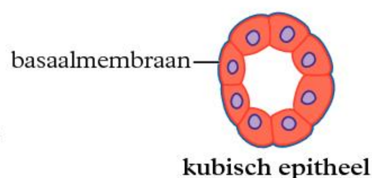
A Stamcellen

type stamcel	*mogelijkheden*
embryonale stamcel (maximaal 4 dagen na bevruchting)	totipotent: kan tot alles differentiëren, ook tot nieuw organisme
embryonale stamcel (tot 9 dagen)	pluripotent: kan tot alles differentiëren binnen het embryo, laatste moment voor ontstaan meerling
embryonale stamcel (na ontstaan kiemlagen ecto-, endo- en mesoderm)	multipotent: differentiatie tot alle cellen binnen de eigen kiemlaag; de cellen zijn gedetermineerd
somatische- of weefselstamcel	unipotent: differentiatie tot cellen binnen het weefsel waarin de stamcel zich bevindt

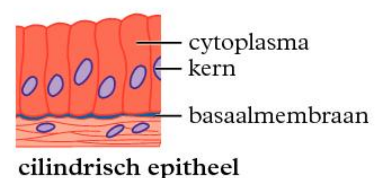
B Dekweefsel (epitheel)



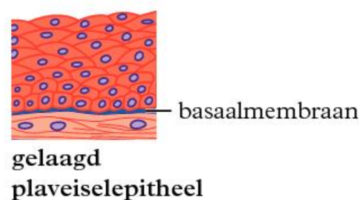
plaveiselepitheel



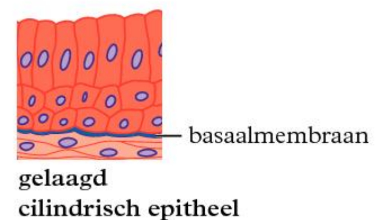
kubisch epitheel



cilindrisch epitheel

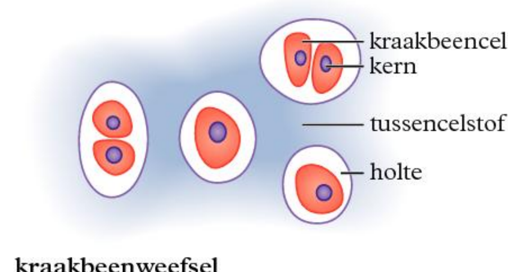


gelaagd plaveiselepitheel

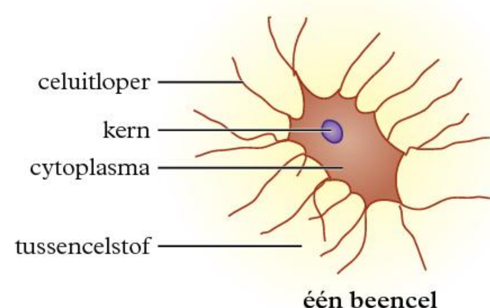


gelaagd cilindrisch epitheel

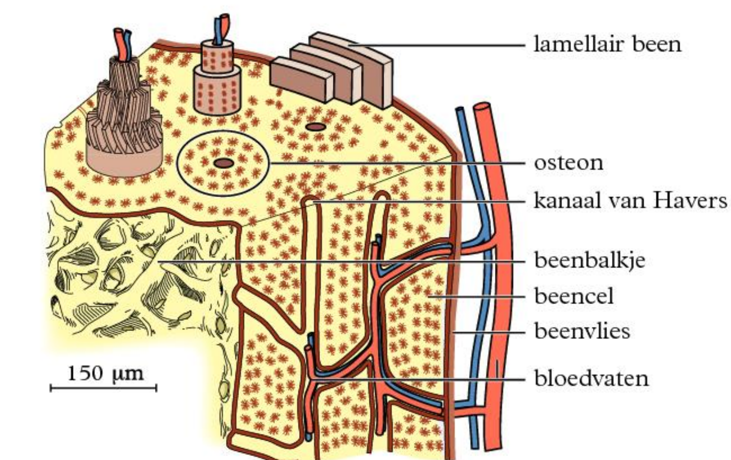
C Steunweefsel



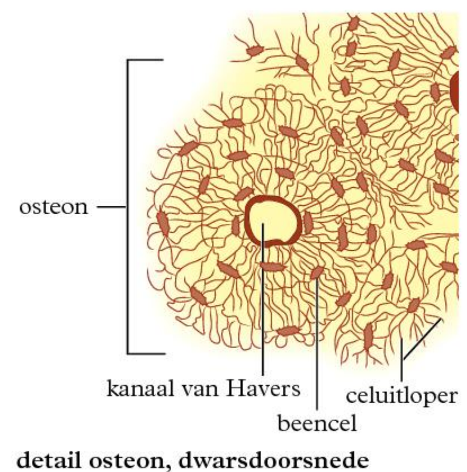
kraakbeenweefsel



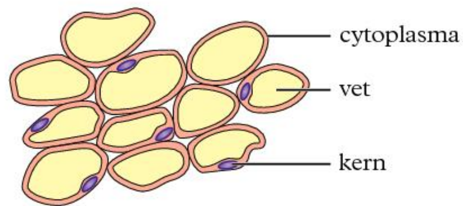
één beencel



beenweefsel

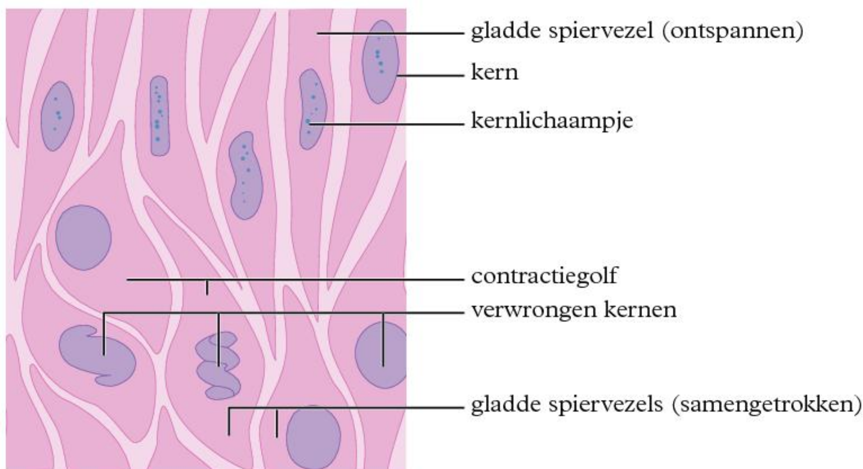


detail osteon, dwarsdoorsnede

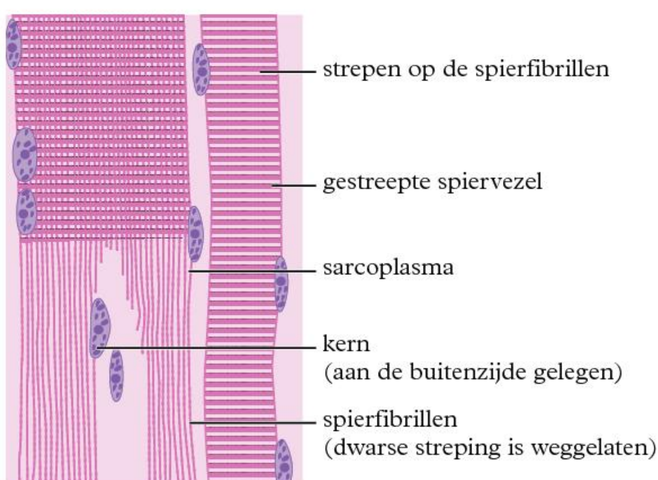


vetweefsel
Vetweefsel is een bijzonder type bindweefsel.
De kernen zijn opzij gedrukt.

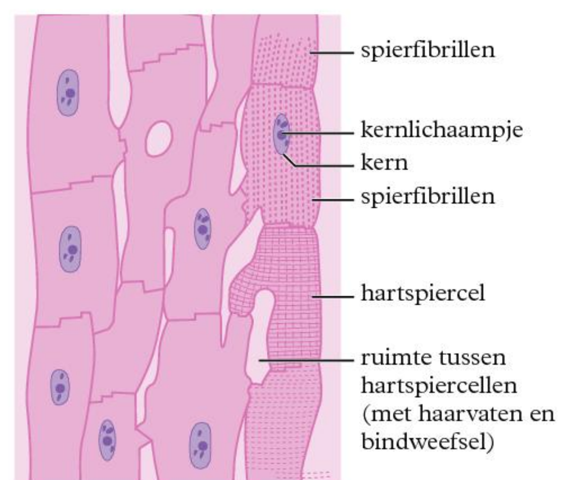
Spierweefsel E



glad spierweefsel



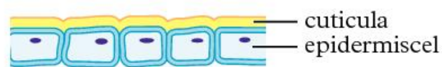
dwarsgestreept spierweefsel

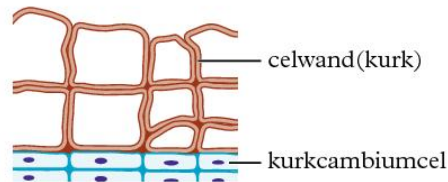


hartspierweefsel

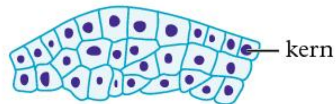
81 Plantaardige weefsels

A Dekweefsel

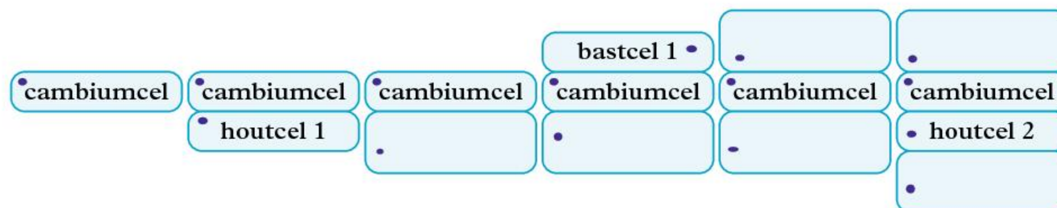




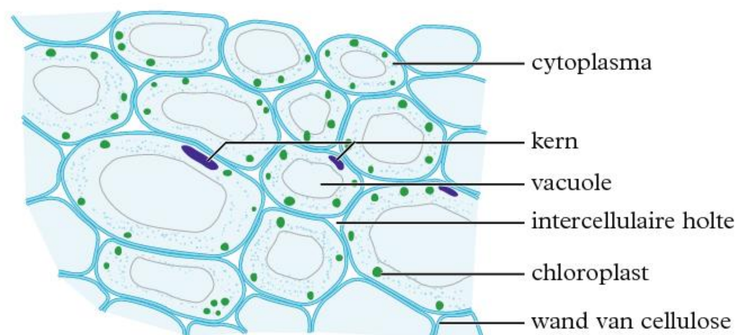
B Deelweefsel



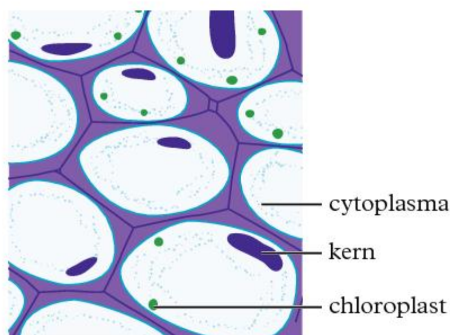
topmeristeem



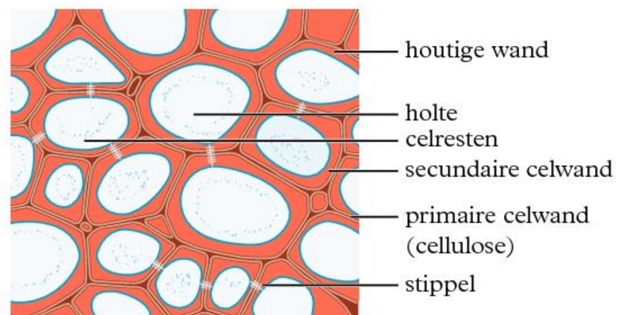
C Parenchym



D Steunweefsel



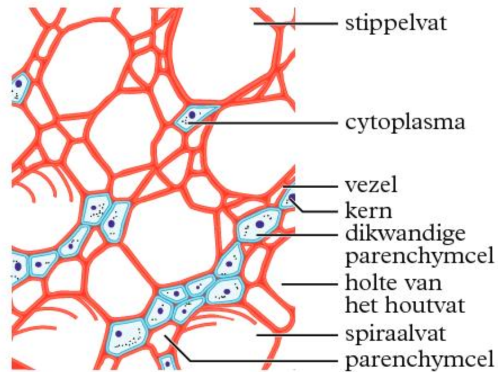
collenchym
(verdikte hoeken)



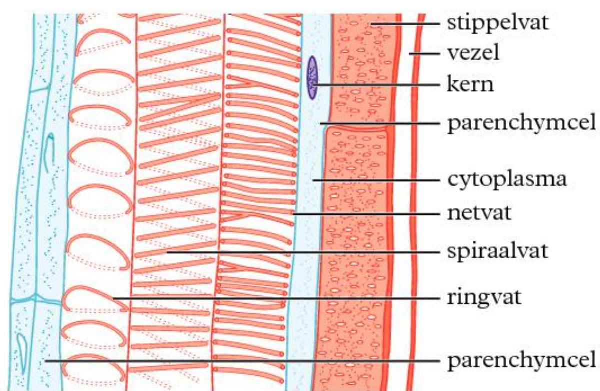
sclerenchym
(verdikte wanden)

xyleem (hout)

dwarsdoorsnede

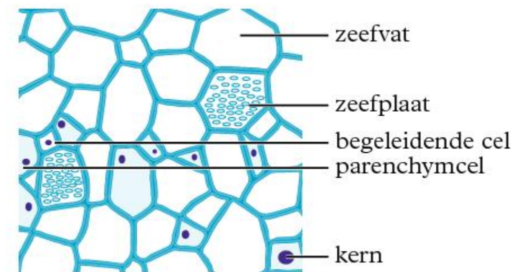


lengtedoorsnede

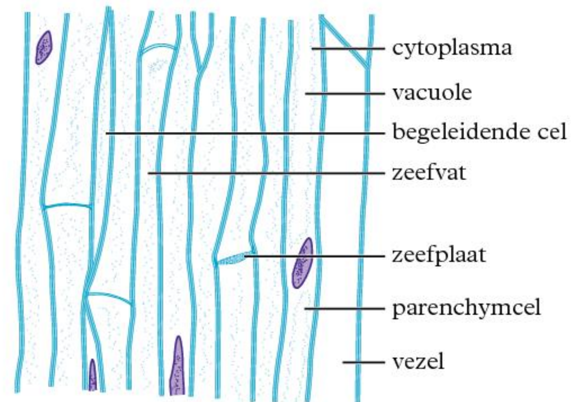


floëem (bast)

dwarsdoorsnede



lengtedoorsnede



vitamine	*nut*	*bron (N.B. ADH geldt voor volwassen vrouw en man)*	*opmerkingen*
A1 retinol 1917	onderdeel van rhodopsine (oogpigment) – stimuleert ontwikkeling en differentiatie van bloedcellen en in de embryonale fase van diverse organen, waaronder botontwikkeling	lever, margarine eieren, vis, via β-caroteen ADH 800-1000 μg	schade bij overdosis – extra toediening zelden nodig – voorkomt nachtblindheid
β-caroteen provitamine A1	antioxidant – omzetting naar vitamine A1	fruit m.n. mango en mandarijn en groenten m.n. spinazie en wortels	overdosis via supplementen kan bij rokers risico op longkanker verhogen – 1 μg levert plm 0,1 μg retinol
B1 thiamine 1926	co-enzym bij vet- en koolhydraatmetabolisme en productie enkele neurotransmitters	volkorenbrood, (varkens)vlees, aardappelen, vliesrijst ADH 1,0-1,5 mg	extra toediening zelden nodig – tekort kan ontstaan bij overmatig alcoholgebruik
B2 riboflavine 1936	vormt onderdeel van o.a. FAD – onderdeel van diverse stofwisselingsenzymen – belangrijk voor zenuwstelsel, stofwisseling, haar en huid	melk, vlees, in mindere mate groenten en fruit ADH 1,0-1,1 mg	bij tekort mondhoek-infecties en ontstoken slijmvliezen – bloedarmoede – E101
B3 nicotine- zuur, nicotinamide 1937	voorloperstof van nicotinamidedeel van NAD/ NADP – energievoorziening cellen – rol in het zenuwstelsel en de huid	zuivel, vlees, graanproducten, groenten, fruit ADH 15-20 mg	ook eigen synthese uit tryptofaan – tekort is zeldzaam – E375
B5 panthotheenzuur 1930	onderdeel van co-enzym A – belangrijk bij afbraak van eiwitten, vetten en koolhydraten – rol bij vorming hormonen	melk, aardappelen, brood, vlees groenten	tekort is zeldzaam
B6 pyridoxine / pyridoxal / pyridoxamine 1934	onderdeel van plm 100 enzymen – rol bij biosynthese aantal neurotransmitters – rol bij vorming heem in hemoglobine	kip, lever, eieren, vis, brood, aardappelen, peulvruchten, rijst ADH 1,3-1,7 mg	tekort is zeldzaam – overdosis geeft schade aan zenuwstelsel (geheugen en denken) en veroorzaakt lichtovergevoelig-heid
B8 biotine	rol bij opbouw en afbraak van koolhydraten en eiwitten, opbouw van vetzuren, invloed op haar en huid – zorgt voor opname vitamine C uit darmen	eieren, melk, lever, sojaproduc-ten, noten, volkorenproducten, synthese door darmbacteriën ADH 400 μg	tekort is zeldzaam – huidaandoeningen – anemie
B11 foliumzuur / folaten 1939	rol bij vorming rode bloedcellen – bij vorming DNA en RNA – ontwikkeling zenuwstelsel foetus	groene groenten, fruit, lever, gist, volkorenproducten ADH 300 μg	folaten zijn zeer instabiel, daarom als synthetisch foliumzuur in voedingssupplement – foliumzuur is schadelijk bij overdosis – spina bifida (open ruggetje)

vervolg ▶

vitamine	*nut*	*bron (N.B. ADH geldt voor volwassen vrouw en man)*	*opmerkingen*
B12 cobalamine 1948	rol bij vorming rode bloedcellen – vorming myelineschedes – rol bij (trans-)aminering – beïnvloedt stofwisseling van foliumzuur	lever, vlees, vis, melk, kaas, eieren ADH 2,8 µg	waarschijnlijk enige cobalthoudende stof – tekort ontstaat meestal door verstoorde opname of langdurig veganisme – lichaam legt voorraad aan – preventie van diverse vormen van anemie en neurologische beschadigingen
C L-ascorbine-zuur 1932	antioxidant - stimuleert opname van ijzer - co-enzym van > 800 enzymen - invloed op weerstand – synthese collageen	fruit, m.n. paprika, kiwi en citrusvruchten, spruitjes, aardappels ADH 70 mg	temperatuurgevoelig – synergie van vitamine C en bepaalde flavonoïden – overdosis verdwijnt via nieren – eigen synthese bij aantal zoogdiersoorten – chronisch tekort veroorzaakt scheurbuik: loszittende tanden, bloedingen, anemie, bot- en spierpijn – E300
D2 ergocalciferol D3 cholecalciferol 1919	rol bij calcium- en fosfaatopname in dunne darm – idem reabsorptie in nieren – afzetting in bot en gebit – goed functioneren spieren, zenuwen en bloedstolling – immuunrespons	vette vis, levertraan, paddestoelen, toegevoegd aan margarine ADH 5-10 µg	omgezet tot werkzame hormoon calcitriol – via zonlicht eigen productie in de huid – overdosis geeft schade aan hart en nieren – tekort dreigt bij mensen met permanent bedekte huid of sterke pigmentatie – tekort oorzaak spierzwakte – werking D3 10× zo sterk als D2
E D-α-tocoferol 1922	antioxidant – rol bij aanmaak rode bloedcellen – belangrijk voor spieren	plantaardige oliën, granen, noten, zaden ADH 9,3-11,8 mg	tekort komt zelden voor – overdosis schadelijk voor weefsels
F linolzuur 1929	rol bij decarboxylering – verlagend effect op cholesterolgehalte in bloed	plantaardige oliën	voor vitamine aangezien bij ontdekking in 1929, maar essentieel onverzadigd vetzuur – toegevoegd aan vele vetten en oliën
K1 fylloquinon K2 menaquinon 1935	synthese van trombinogeen en andere bloedstollingscomponenten – botvorming	K1: bladgroenten, tomaten K2: kaas, ei, vlees, melk	vanaf 3^{e} maand via darmbacteriën – tekort bij leverziekten en darmaandoeningen – overdosis zeldzaam (mogelijk trombose)
Q ubiquinon 1957	als co-factor in de elektronen-transportketen	eigen synthese	vaak gebruikt als supplement Q10 – alleen verlaging bloeddruk bewezen

nummer	*stoffen*	*functie*
100	curcumine	kl
101	lactoflavine	kl
101	riboflavine	kl
102	tartrazine	kl
104	chinolinegeel	kl
110	zonnegeel FCF, oranjegeel S	kl
120	cochenille, karmijnzuur, karmijn	kl
122	azorubine, karmozijn	kl
123	amarant	kl
124	ponceau 4R, cochenillerood	kl
127	erythrosine	kl
128	rood 2G	kl
129	allurarood AC	kl
131	patentblauw V	kl
132	indigotine, indigokarmijn	kl
133	briljantblauw FCF	kl
140	chlorofylen en chlorofylinen	kl
141	kopercomplexen van chlorofylen en chlorofylinen	kl kl
142	groen S, briljantzuurgroen	kl
150	caramellen	kl
151	briljantzwart BN, zwart PN	kl
153	carbo medicinalis vegetabilis (actieve kool)	kl
154	bruin FK	kl
155	bruin HT	kl
160	carotenoïden	kl
161	xanthofylen	kl
162	bietenrood, betanine	kl
163	anthocyanen	kl
170	calciumcarbonaat	ak, kl
171	titaandioxide	kl
172	ijzeroxiden en ijzerhydroxiden	kl
200	sorbinezuur	cs
202, 203	sorbaten	cs
210, 211	benzoaten	cs
214 t/m 217	ethylesters van *p*-hydroxy-benzoëzuurverbindingen	cs
220	zwaveligzuur	cs
234	nisine	cs
235	natamycine (pimaricine)	cs
249 t/m 252	nitrieten	cs
260	azijn(zuur)	cs, vz, zr
261 en 263	acetaat (kalium-)	vz, zr
270	melkzuur	vz, zr
280	propionzuur	cs
290	koolstofdioxide	cs, dg
296	appelzuur	vz, zr
297	fumaarzuur	vz
300	ascorbinezuur	ao, bm, zr
301, 302	ascorbaten	ao, bm, zr
306 t/m 309	tocoferolen (concentraat)	ao, em
310 t/m 312	gallaten	ao
315	erythorbinezuur	ao
316	ascorbaat (natriumiso-)	ao
316	natriumerythorbaat	ao
320	butylhydroxyanisol (BHA)	ao
321	butylhydroxytolueen (BHT)	ao
322	lecithine	bm, cs, em, st, vd
325 t/m 327	lactaten	vz, zr
330	citroenzuur	cv, vz, zr
331 t/m 333	citraten	cv, vz, zr
334	wijnsteenzuur	cv, vz, zr
335 t/m 337	tartraten	cv, vz, zr
338	fosforzuur	cv, zr
339 t/m 341	fosfaten	ak, bm, cv, em, gm, rm, sz, st, zr
363	barnsteenzuur	oi
380	citraten	cv, vz, zr
400	alginezuur	gm, st, vd
401 t/m 405	alginaten	gm, st, vd
401	ascorbaat	zr
406	agar-agar	gm, st, vd
407	carrageen	st, vd
408	furcelleraan	gm
410	johannesbroodpitmeel	st, vd, vm
412	guargom	st, vd, vm
413	tragacanth	st, vd
414	arabische gom	st, vd
415	xanthaangom	st, vd, vm
416	karayagom	vd
417	taragom	st, vd
420	sorbitol	bv, st, vs, zs
421	mannitol	vs, zs

vervolg ▶

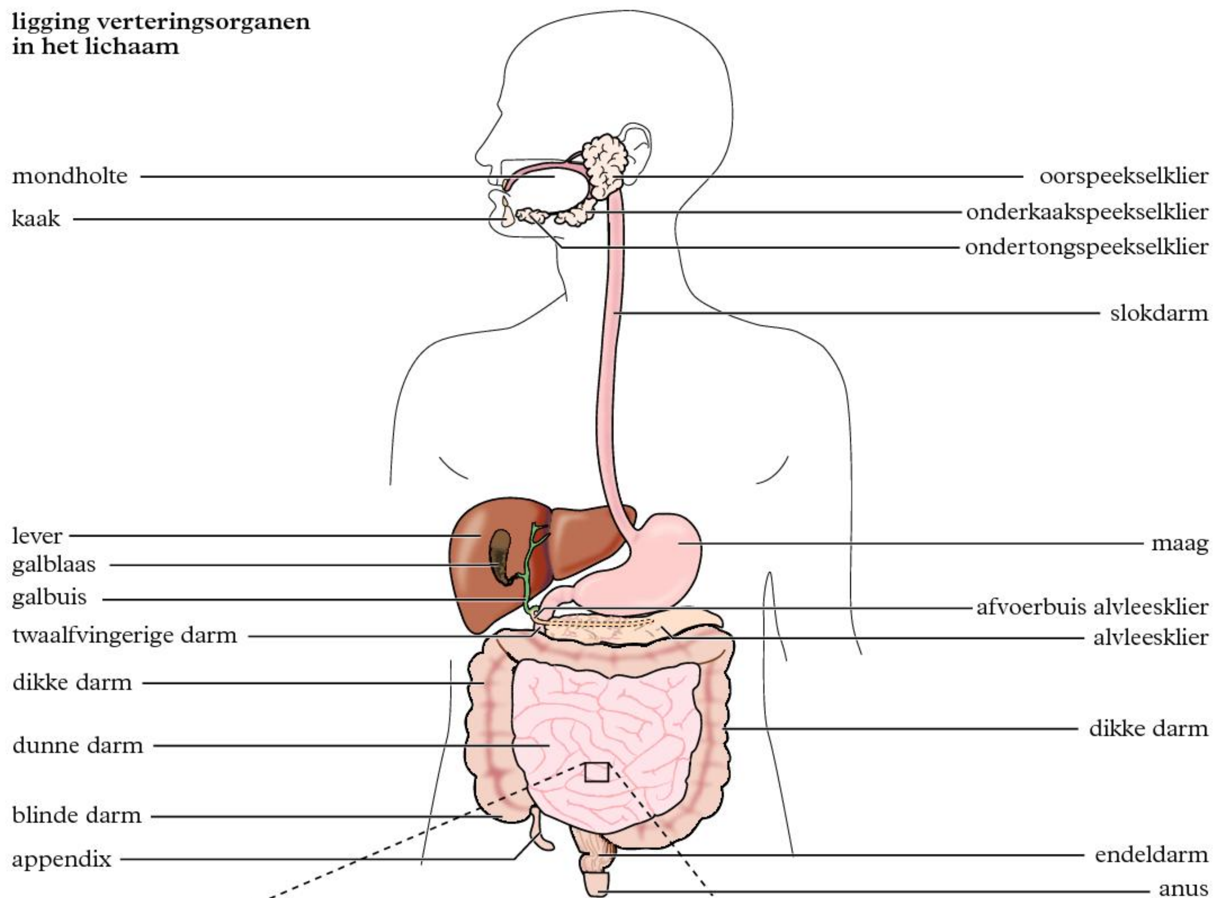
nummer	*stoffen*	*functie*
422	glycerol	bv, oi
432 t/m 436	polyoxyethyleen-20-sorbitaanvetzuren	em
440	pectine	gm, st, vd
442	ammoniumfosfatiden	em
450 t/m 452	fosfaten (di-)	ak, bm, cv, em, gm, rm, sz, st, zr
460 t/m 466	cellulosen	em, gm, st, vd, vm
471	mono- en diglyceriden van vetzuren	em
472	veresterde mono- en diglyceriden van vetzuren	em
474	suikerglyceriden	em
475	polyglycerolesters van vetzuren	em
476	polyglycerolpolyricinoleaat	em
482	calciumstearoyl-2-lactylaat	em
491, 492, 494	sorbitaanvetzuren	em
503	carbonaat (ammonium-)	rm
509	calciumchloride	ak, sz, st
510	ammoniumchloride (salmiak)	oi
541	fosfaat (natriumaluminium-)	ak, bm, cv, em, gm, rm, sz, st, zr
552, 554, 559	silicaten	ak
570	vetzuren	oi
575	gluconodeltalacton	vz
578	guanylaat (calcium-)	sv

nummer	*stoffen*	*functie*
620 t/m 625	glutamaten	sv
626	guanylzuur	sv
627	guanylaten	sv
630	inosinezuur	sv
631 t/m 633	inosinaten	sv
640	glycine	bv, oi
640	natriumglycinaat	oi, zr
901	bijenwas, wit en geel	gl
902	candellilawas	gl
903	carnaubawas	gl
938	argon	dg
939	helium	dg
941	stikstof(gas)	dg
948	zuurstof	dg
950	acesulfaam	zs
951	aspartaam	zs
952	cyclamaat	zs
953	isomalt	vs, zs
954	sacharine (en het natrium-, kalium- en calciumzout)	zs
957	thaumatine	zs
959	neohesperidine	zs
965	maltitol	vs, zs
966	lactitol	vs, zs
967	xylitol	zs
1102	glucose-oxidase	ez
1103	invertase	ez
1105	lysozym	ez
1200	polydextrose	vs
1440	hydroxypropylzetmeel	gm, st, vd
1442	hydroxypropyldizetmeelfosfaat	gm, st, vd

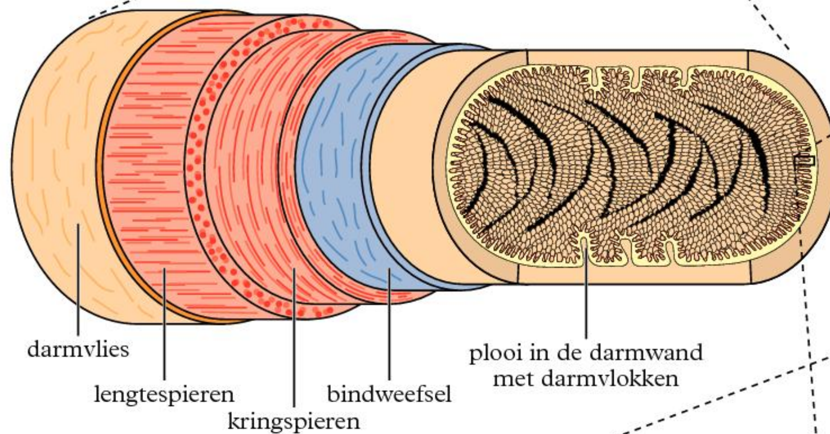
betekenis van de afkortingen	
ak	antiklontermiddel
ao	antioxidant
bm	brood-/meelverbeteraar
bv	bevochtigingsmiddel
cs	conserveermiddel
cv	complexvormer
dg	drijfgas/verpakkingsgas
em	emulgator
ez	enzym
gl	glansmiddel
gm	geleermiddel
kl	kleurstof

betekenis van de afkortingen	
oi	overig(e) ingrediënt/hulpstof
rm	rijsmiddel
st	stabilisator
sv	smaakversterker
sz	smeltzout
vd	verdikkingsmiddel
vm	verstevigingsmiddel
vs	vulstof
vz	voedingszuur
zr	zuurteregelaar
zs	zoetstof

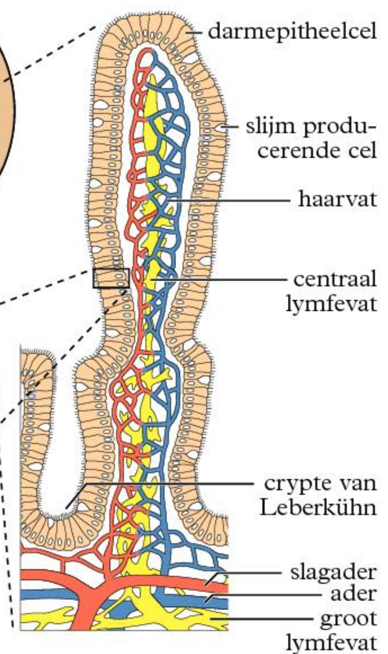
ligging verteringsorganen in het lichaam



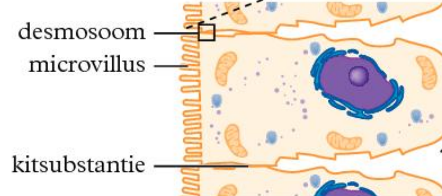
detail dunne darm



detail darmvlok

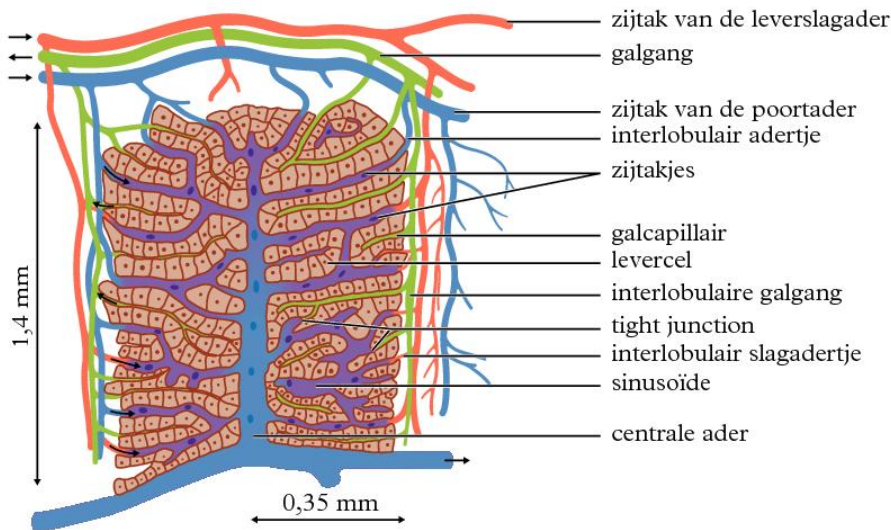


darmepitheelcel



- De lever is wat te hoog getekend en de galblaas ligt aan de achterzijde van de lever.
- De illustraties zijn schematische voorstellingen.

Leverlobje D



Verteringsenzymen E

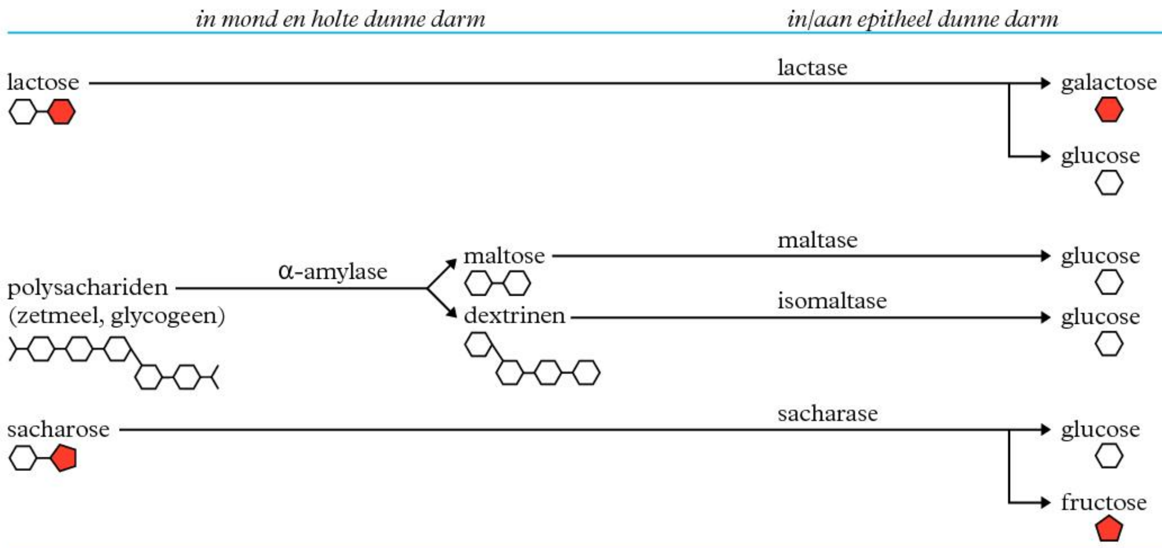
substraten →	eiwitten	vetten	glycogeen, zetmeel	sacharose	lactose	DNA/RNA
speekselklieren			α-amylase (pH 6,6) ▸1			
maagsapklieren	peptase (pepsine) (pH 2,5)	▸3				
lever		gal ▸2				
		geëmulgeerde vetten				
alvleesklier	tryptase (trypsine) chymotrypsine (pH 8,5)	lipase (pH 8,0)	α-amylase (pH 6,6)			
	polypeptiden (peptonen)					
alvleesklier	peptidasen (pH 8,5)					nucleasen
			dextrinen, maltose			nucleotiden
enzymproducerende darmcellen	peptidasen (pH 8,5)		isomaltase, maltase (pH 6,6)	sacharase (pH 7,0)	lactase (pH 7,2)	nucleasen, nucleotidasen, nucleosidasen
eindproducten →	*aminozuren*	*monoglyceriden, glycerol en vetzuren*	*glucose*	*glucose, fructose*	*glucose, galactose*	*stikstofbasen, suikers en fosfaten*

1 ▶ pH-optimum
2 ▶ geen enzym
3 ▶ bij baby's maaglipase (pH 2,0 – 6,0), voor vertering van melkvet

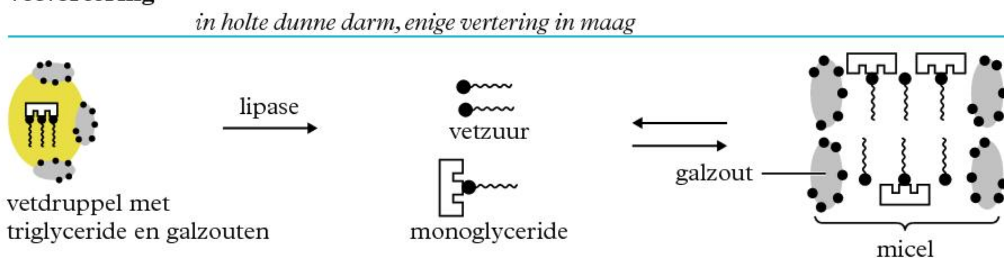
F Samenstelling verteringssappen

verteringssap	*samenstelling*	*functie en bijzonderheden*
speeksel	water	oplosmiddel voor voedingsstoffen
1 - 1,5 L d^{-1}	slijm	maakt voedsel glad
pH = 6,0 - 7,5	α-amylase	koolhydraat verterend enzym
	lysozymen thiocyanaat antistoffen	antibacteriële werking; ernstige aantasting van gebit als geen speeksel wordt geproduceerd
	Na^+, K^+, HCO_3^-	HCO_3^- neutraliseert H^+-ionen
maagsap	pepsinogeen	pro-enzym van eiwitten verterend enzym pepsine (peptase)
1,5 - 2,5 L d^{-1}	HCl	doodt micro-organismen; denatureert eiwitten; activeert vorming van pepsine
pH = 1,5 - 3,5	intrinsieke factor	bindt vit B12, zodat dit kan worden geresorbeerd; bij te geringe productie bloedarmoede
	slijm	beschermt de maagwand tegen inwerking HCl en enzymen uit het maagsap
	maaglipase	vet verterend enzym, bij baby's, voor vertering van melkvetten
	water	oplosmiddel
alvleessap	HCO_3^-	neutraliseert HCl uit de maag
1 - 1,3 L d^{-1}	water	oplosmiddel
pH = 7,1 - 8,2	trypsinogeen	pro-enzym van eiwitten verterend enzym trypsine (tryptase)
	chymotrypsinogeen	pro-enzym van eiwitten verterend enzym chymotrypsine
	pro-carboxypeptidase	pro-enzym van poly- en oligopeptiden verterend enzym carboxypeptidase
	α-amylase	koolhydraat verterend enzym
	lipase	vet verterend enzym
	fosfolipasen	fosfolipiden verterende enzymen
	cholesterolesterase	cholesterolester verterend enzym
	nucleasen	RNA- en DNA-verterende enzymen
gal	galkleurstoffen	afvalproducten van hemoglobine uitgescheiden door en/of gevormd in de lever
0,3 - 1,0 L d^{-1}		
pH = 7,0 - 7,7	water	oplosmiddel
	galzuren	emulgeren van vetten
	cholesterol	uitscheiding o.a. voor regulering van de cholesterolspiegel
dunnedarmsap	slijm	beschermt darmwand tegen enzymen en mechanische beschadiging; afgegeven door slijmbekercellen
1,8 - 2,5 L d^{-1}		
pH = 6,5 - 8,0	water	oplosmiddel; afgegeven door de crypten van Lieberkühn
	lactase sacharase maltase isomaltase	koolhydraat verterende enzymen
	aminopeptidase	poly- en oligopeptiden verterend enzym
	dipeptidasen	dipeptiden verterende enzymen
	nucleasen nucleotidasen nucleosidasen	RNA- en DNA-verterende enzymen
dikkedarmsap	slijm	beschermt de darmwand tegen bacteriën en mechanische beschadiging; gemaakt en afgegeven door slijmbekercellen
0,2 L d^{-1}		
pH = 7,5 - 8,0	HCO_3^-	neutralisatie van H^+-ionen; afgegeven door de crypten van Lieberkühn

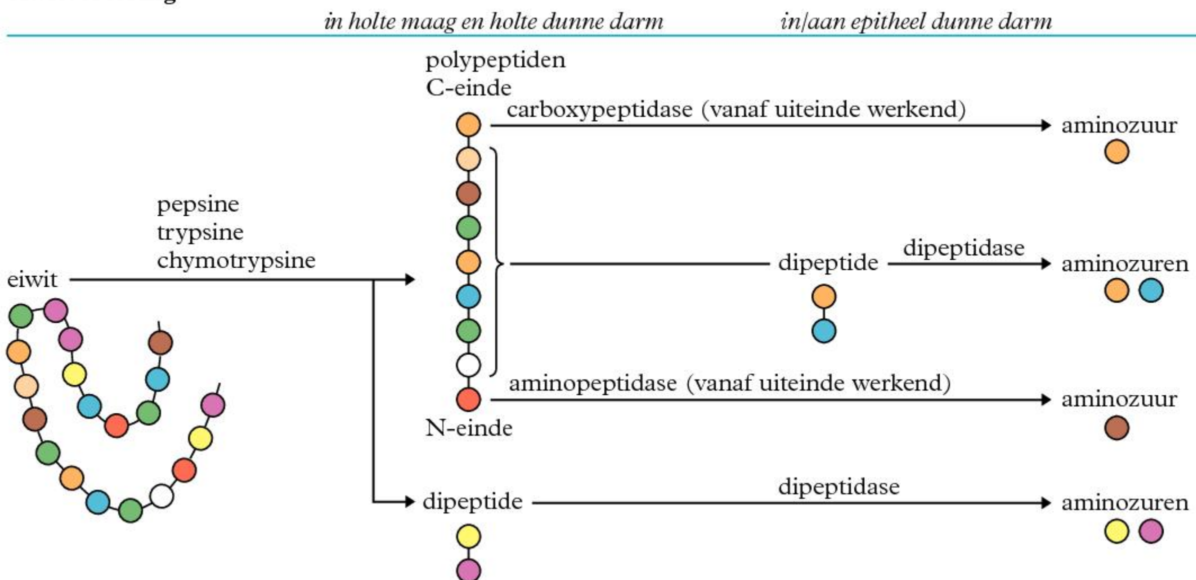
koolhydraatvertering



vetvertering

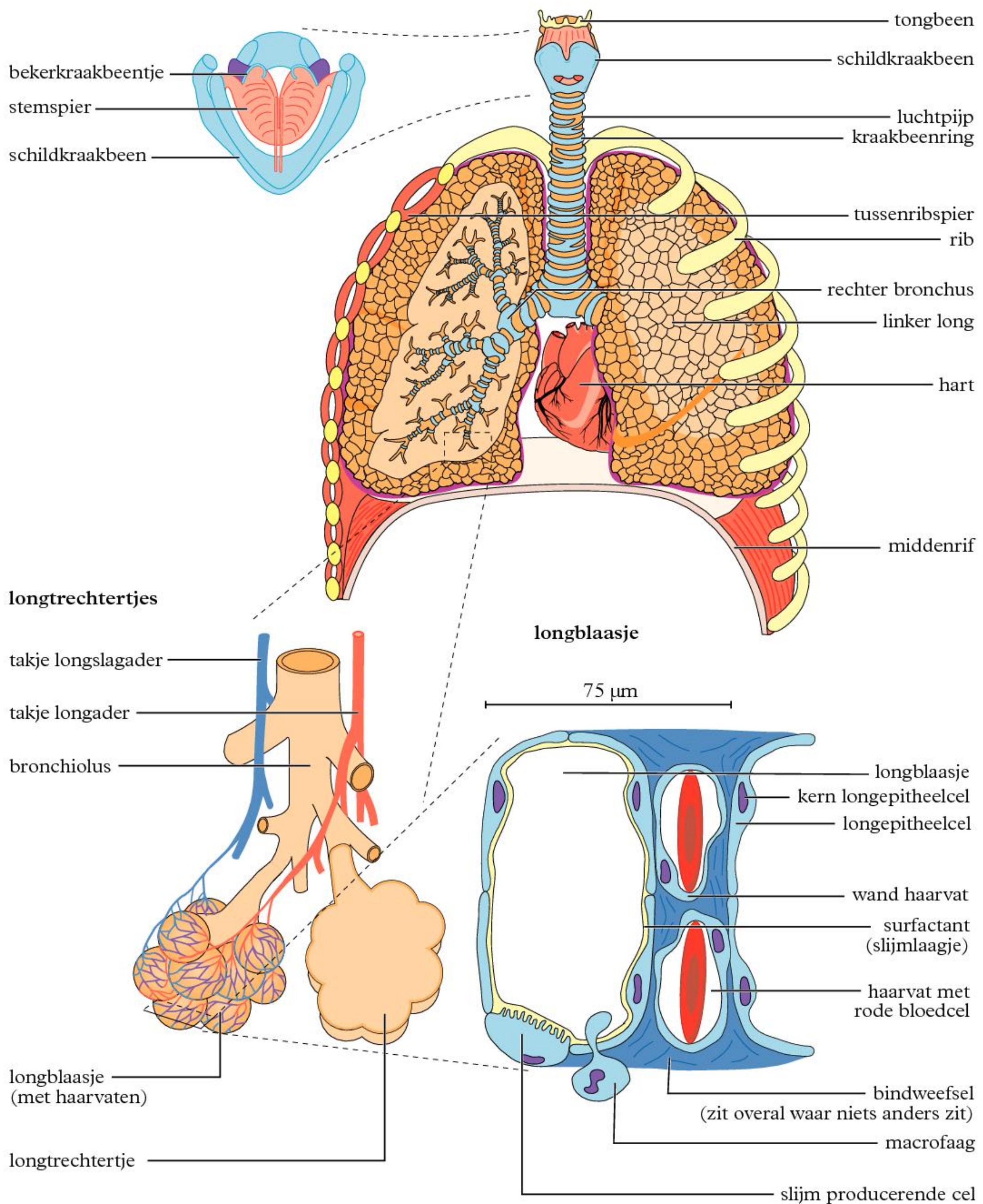


eiwitvertering



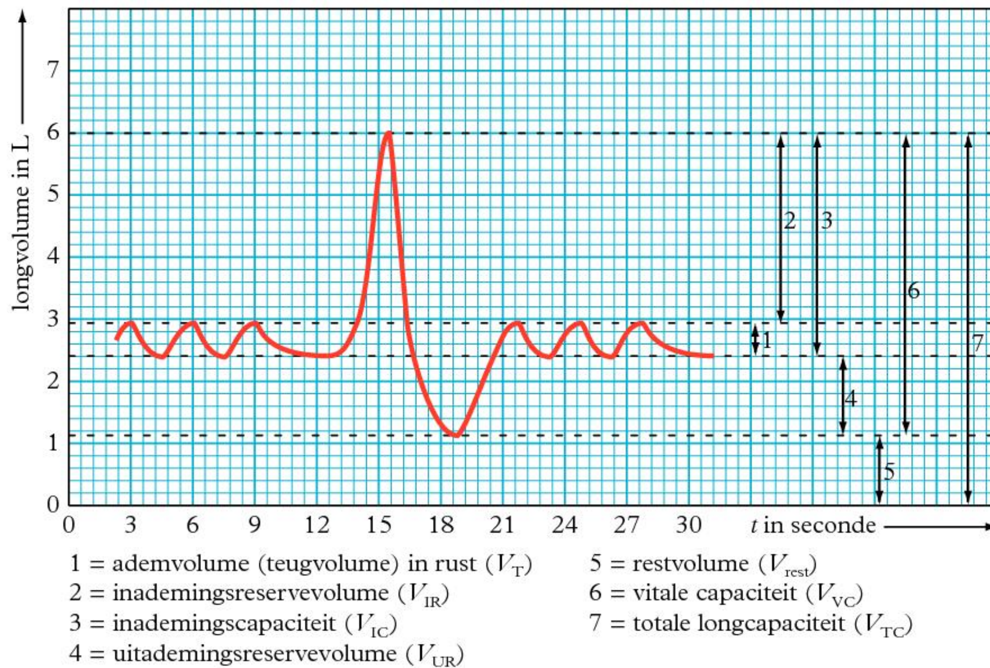
■ Voor formules: zie tabellen 67F, G en H.

A Longen



■ Wet van Fick:
aantal mol dat per seconde oppervlakte A passeert $n = DA\frac{\Delta c}{\Delta x}$ D = diffusiecoëfficiënt

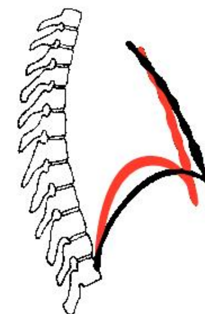
$\frac{\Delta c}{\Delta x}$ = concentratiegradiënt



longvolume in L bij gezonde, rechtopstaande mens

geslacht	*vrouw*	*man*	*man*
leeftijd	20-30 jaar	20-30 jaar	50-60 jaar
lichaamsoppervlakte	1,7 m²	1,7 m²	1,6 m²
V_{IC}	2,4	3,6	2,6
V_{UR}	0,8	1,2	1,0
V_{VC}	3,2	4,8	3,6
V_{rest}	1,0	1,2	2,4
V_{TC}	4,2	6,0	6,0
$V_{rest}/V_{TC} \times 100\%$	24%	20%	40%

stand middenrif en borstbeen bij in- en uitademing



Samenstelling gassen in lucht en bloed C

partiële gasdruk van de belangrijkste gassen bij ademhaling in kPa en volume-% bij $p = p_0$

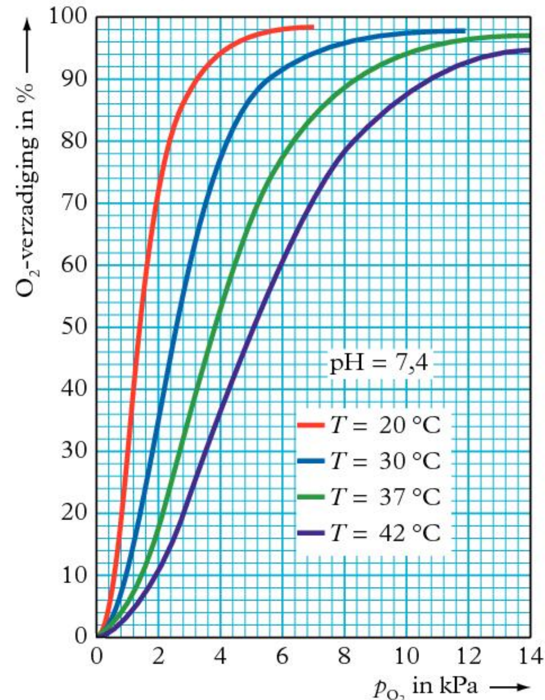
	p_{O_2}	*vol %*	p_{CO_2}	*vol %*	p_{N_2}	*vol %*	p_{H_2O}	p_{totaal} ►1
inademingslucht	19,9	20,9	0	0,03	75,1	79,0	6,3	101,3
uitademingslucht	15,4	16,2	3,7	3,9	75,9	79,8	6,3	101,3
lucht in longblaasjes	13,3	14,0	5,3	5,6	76,4	80,4	6,3	101,3
bloed dat longhaarvaten binnenkomt	5,3		6,1		77,1		6,3	94,8
bloed dat longhaarvaten verlaat	12,6		5,3		77,1		6,3	101,3
weefsels	<5,3	-	> 6,1	-	-	-	-	-
buitenlucht (droog)	21,1	20,9	0	0,03	80,1	79,0		101,3

1 ► $p_0 = 101,35$ kPa

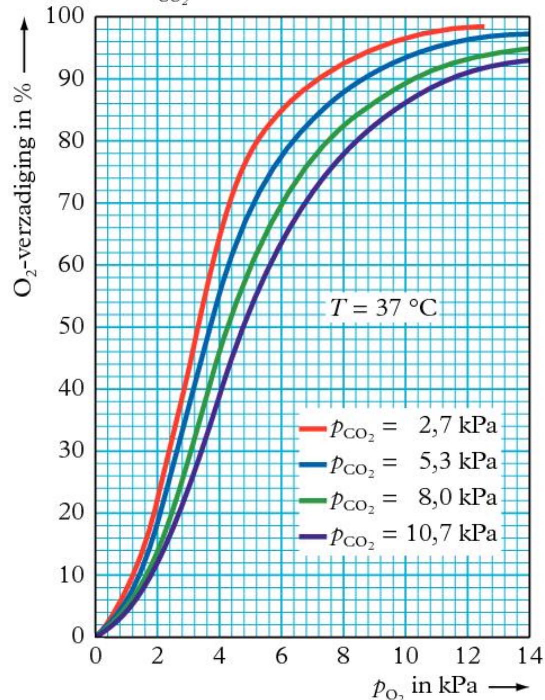
D Zuurstofverzadigingsdiagrammen

100% O_2-verzadiging komt overeen met 20 mL per 100 mL bloed

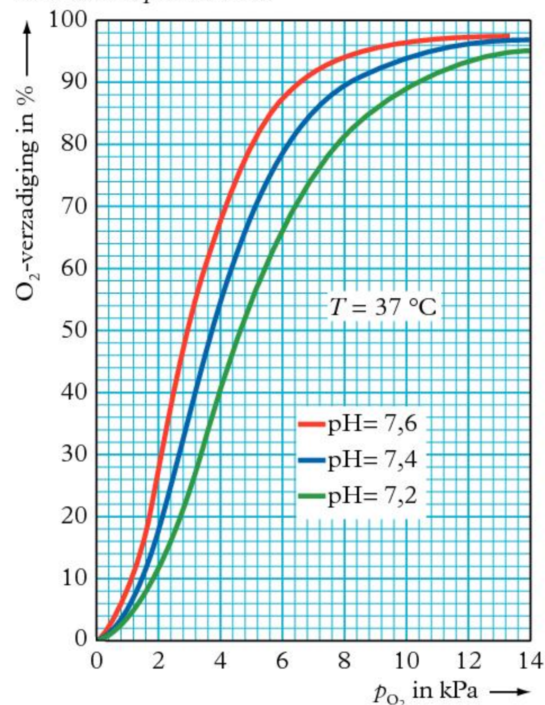
Zuurstofverzadiging van hemoglobine bij verschillende temperaturen



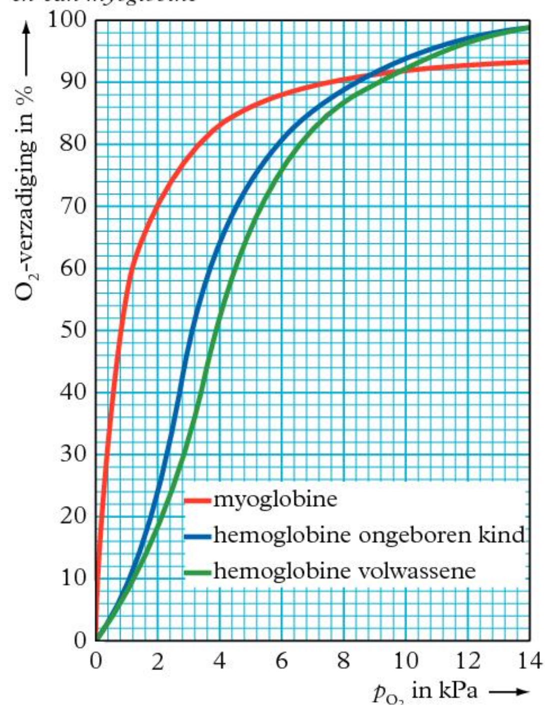
Zuurstofverzadiging van hemoglobine bij verschillende p_{CO_2}-waarden



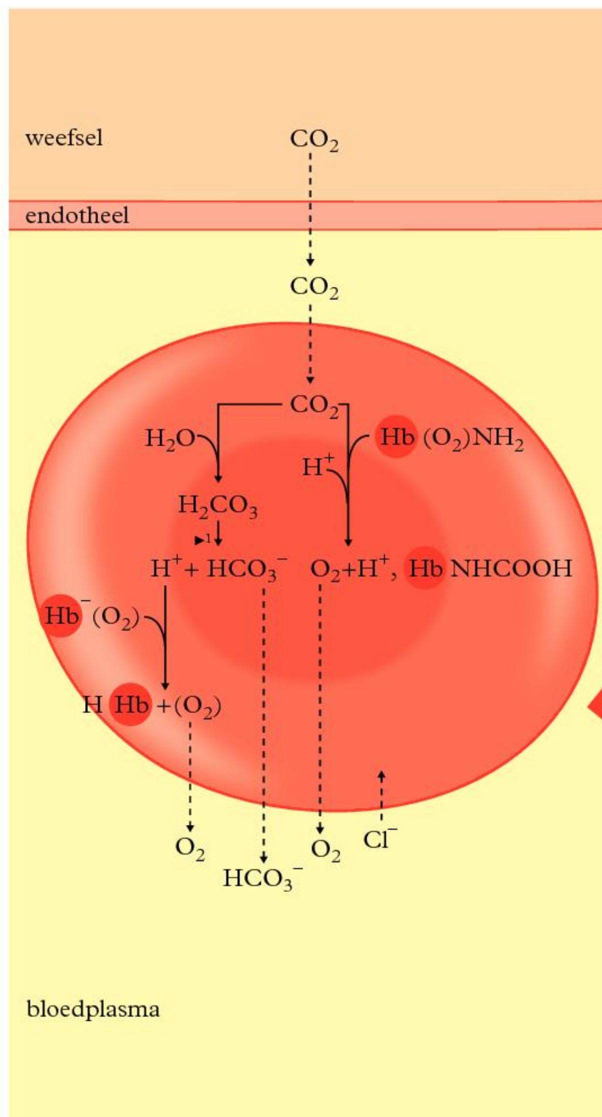
Zuurstofverzadiging van hemoglobine bij verschillende pH-waarden



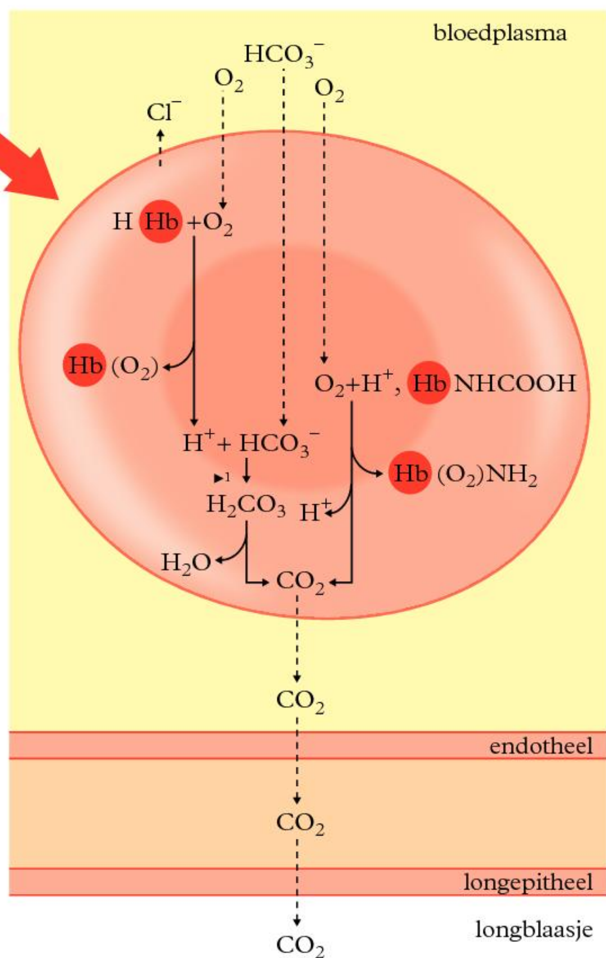
Zuurstofverzadiging van hemoglobine van een ongeboren kind, van een volwassene en van myoglobine



CO_2-opname uit weefsel

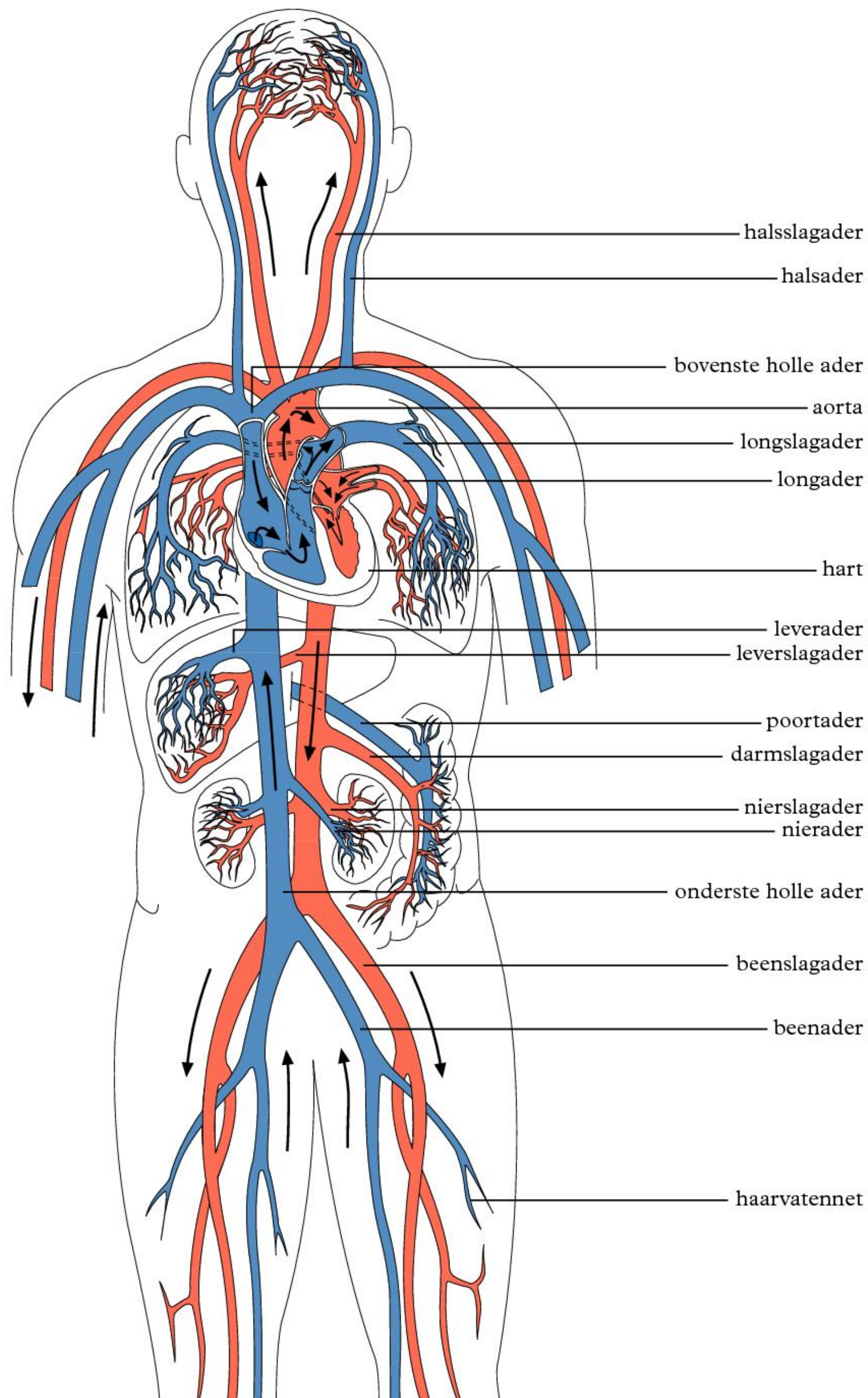


CO_2-afgifte aan longblaasjes



1 ▶ koolzuuranhydrase

A Bloedsomloop volwassene



zuurstofrijk
gemengd
zuurstofarm

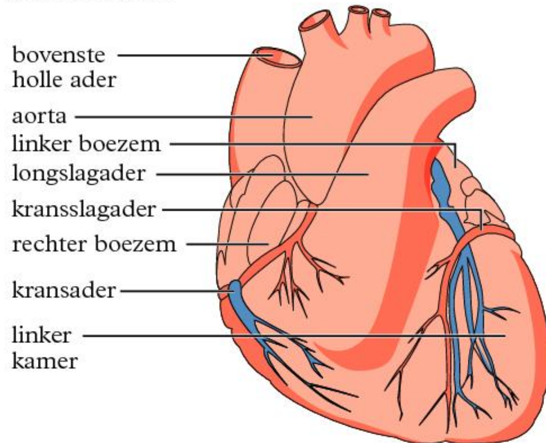
bovenste holle ader
longader
foramen ovale
long
leverader
onderste holle ader
poortader
navelstrengader
navelstreng
placenta

aorta
ductus Botalli
longslagader
lever
aorta
navelstrengslagaders

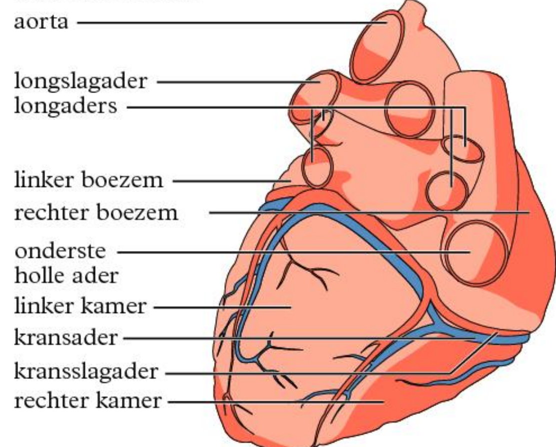
C Hart en bloedvaten

1 Hart

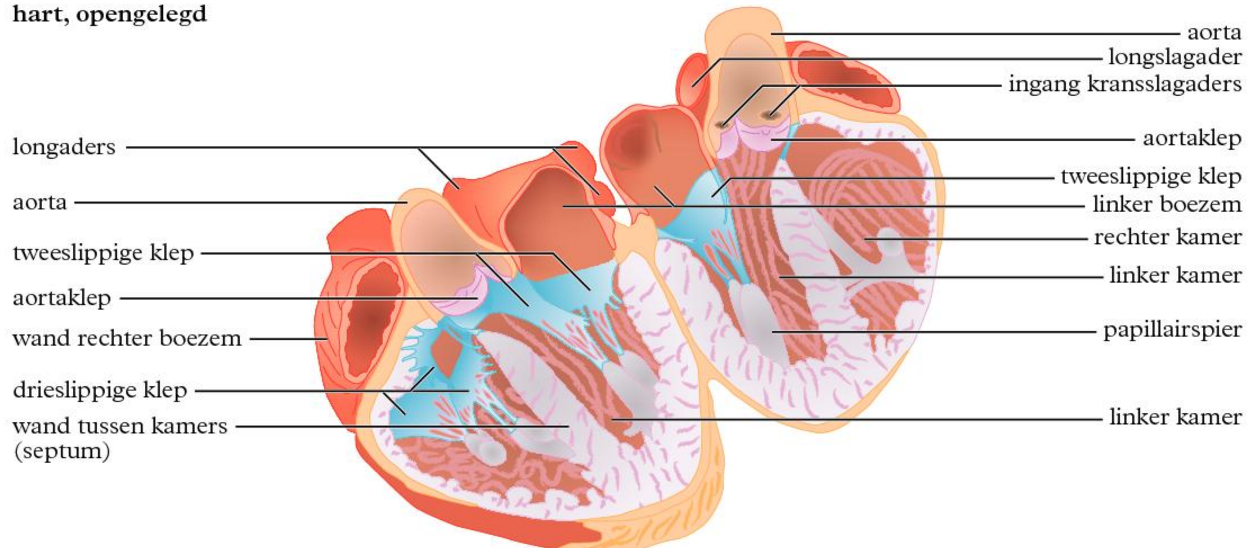
hart voorkant



hart achterkant

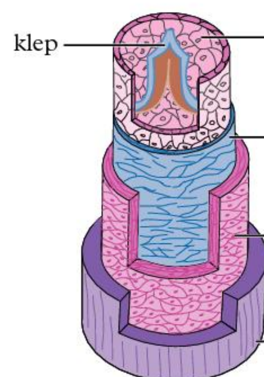


hart, opengelegd

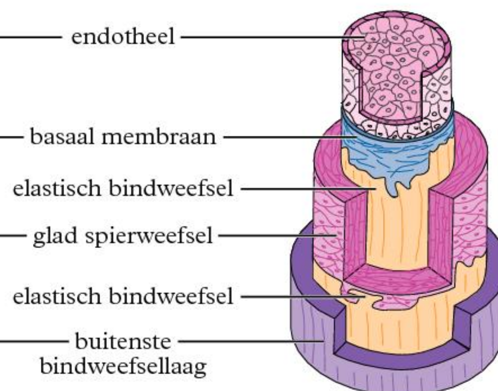


2 Bloedvaten

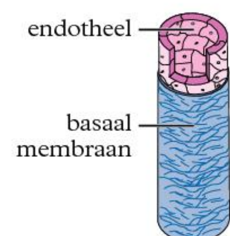
ader, vene



slagader, arterie

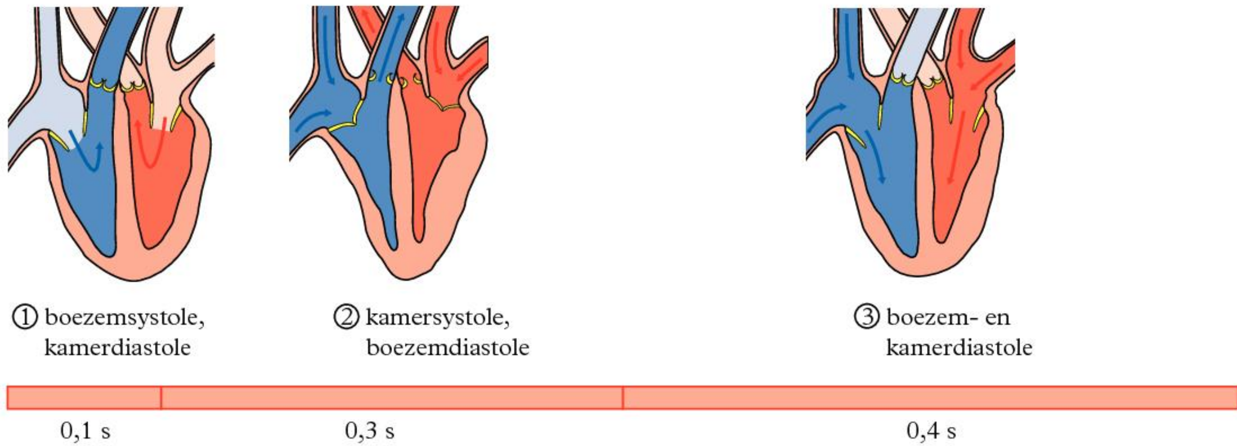


haarvat, capillair



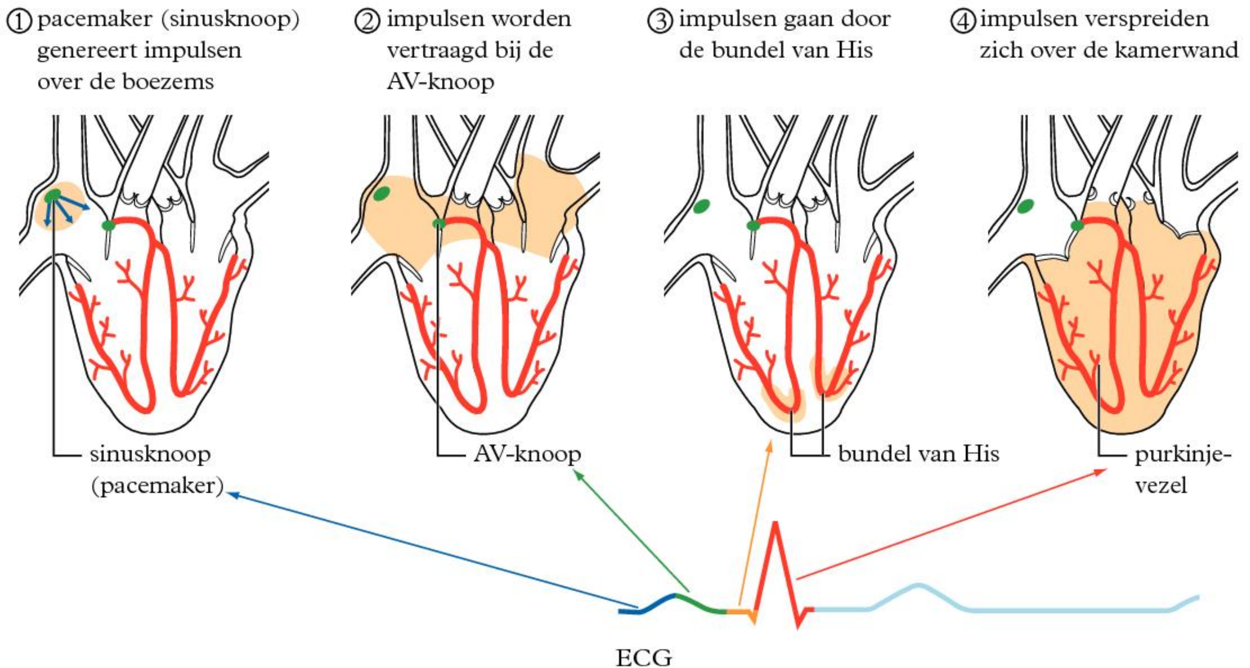
Hartcyclus 1

de hartcyclus bij een hartslagfrequentie van 75 slagen per minuut

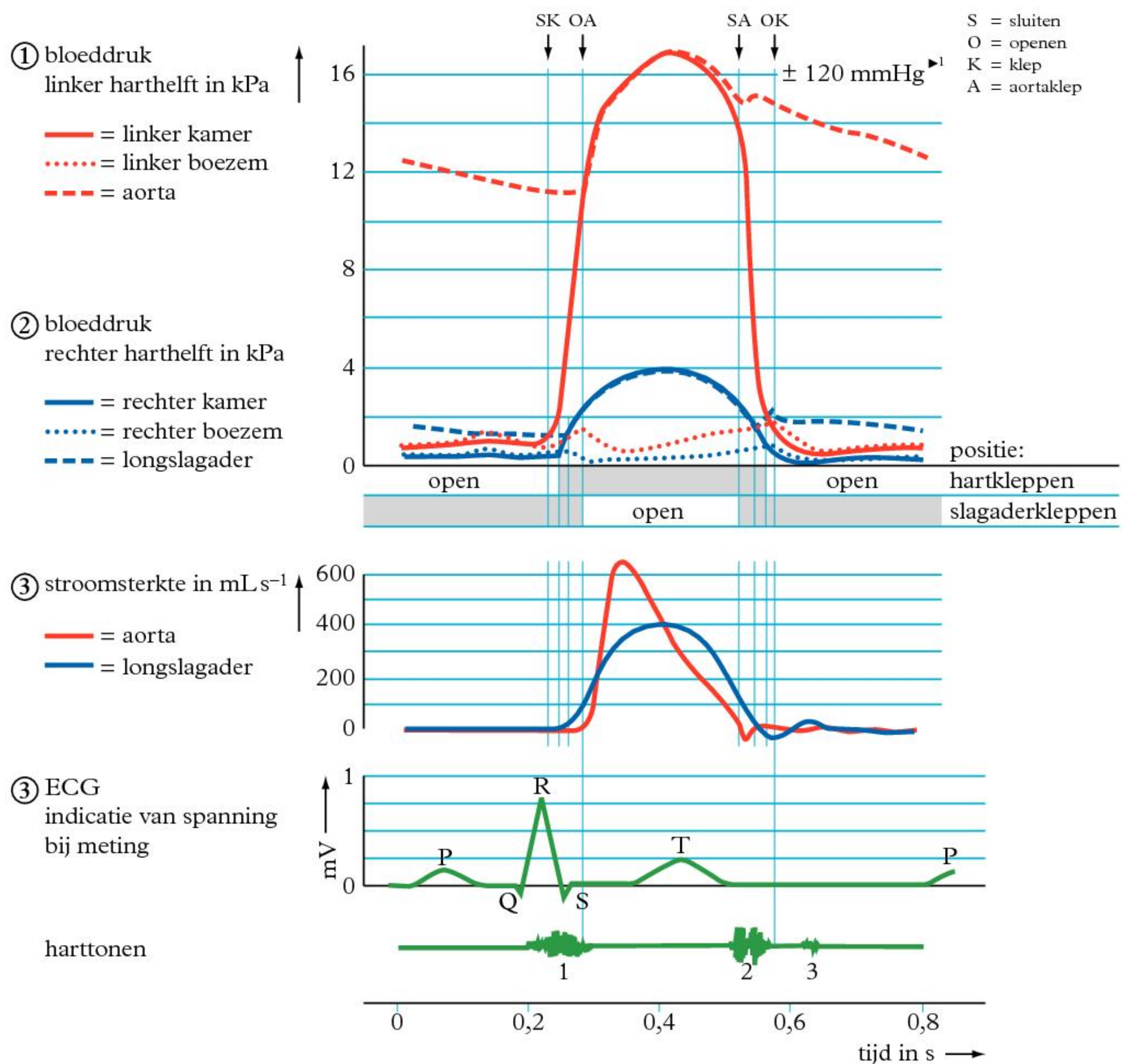


Prikkelgeleiding van het hart 2

prikkelgedrag in relatie tot het ECG



3 Relatie tussen bloeddruk, stroomsterkte, ECG en harttonen



hart:
volume per kamer 130 cm^3
pompvolume per kamer 80 cm^3 per hartslag
frequentie 50-200 min^{-1}
hartminuutvolume (HMV) 4,5 - 22 $L min^{-1}$

bloed:
dichtheid $1{,}05 \cdot 10^3$ kg m^{-3}
gemiddelde snelheid in de aorta 0,40 ms^{-1}
viscositeit $5 \cdot 10^{-3}$ Pa s
viscositeit plasma $1{,}3 \cdot 10^{-3}$ Pa s

P-top depolarisatie van de boezemspier (atriumspier)

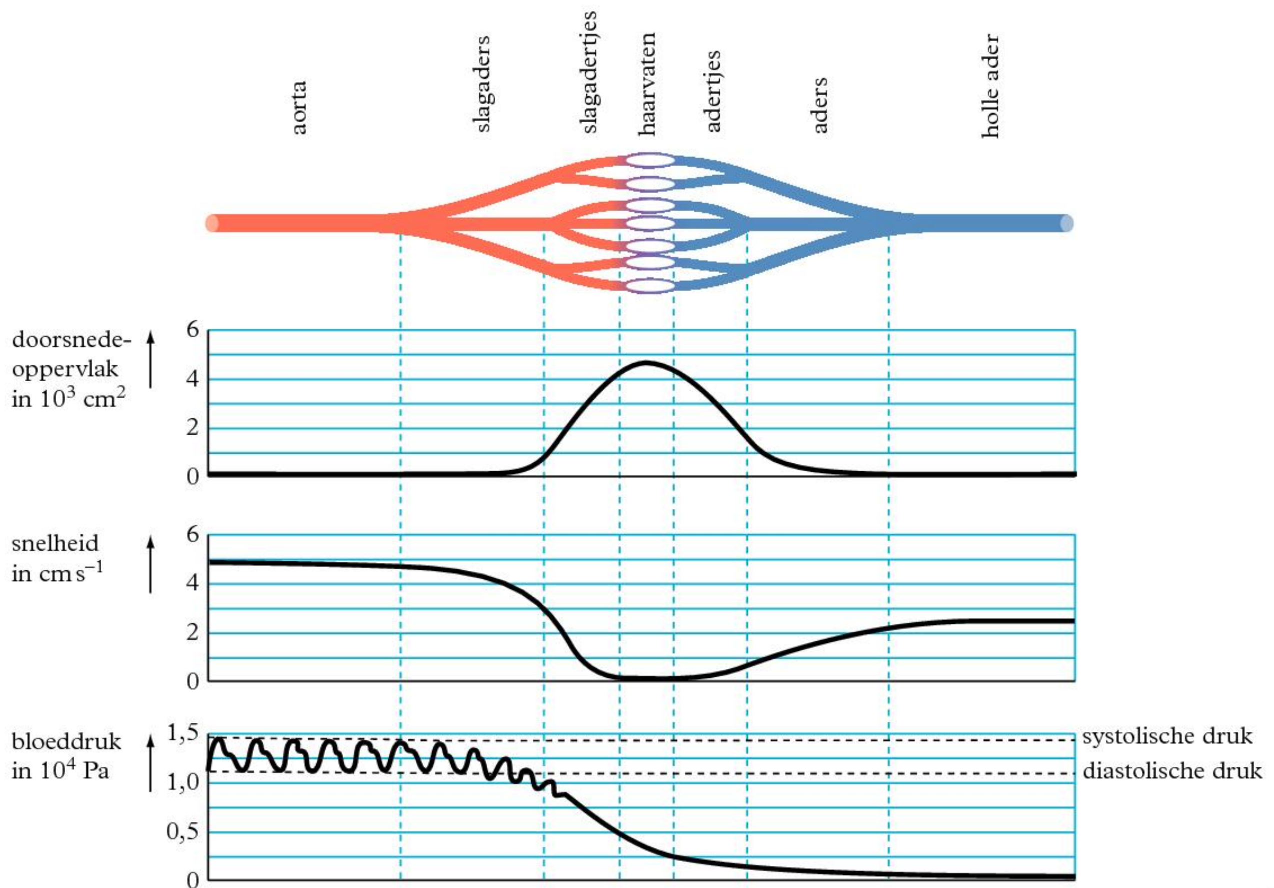
Q-, R-, S-top
(QRS-complex) depolarisatie van de kamerspier (ventrikelspier)

T-top repolarisatie van de kamerspier

repolarisatie van de boezemspier valt in tijd samen met het QRS-complex.

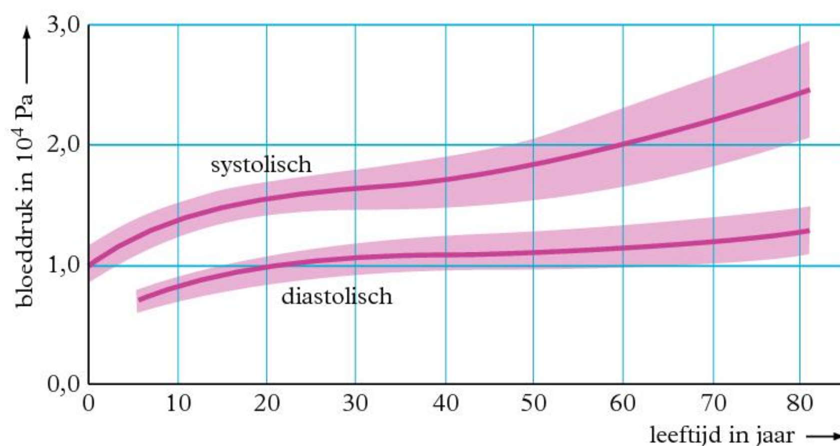
1 ▶ mmHg = 133 Pa: zie tabel 5.

Bloeddruk in het bloedvatenstelsel 1



Bloeddruk als functie van de leeftijd 2

gemiddeld over ca. 20 000 proefpersonen in rust met standaarddeviatie

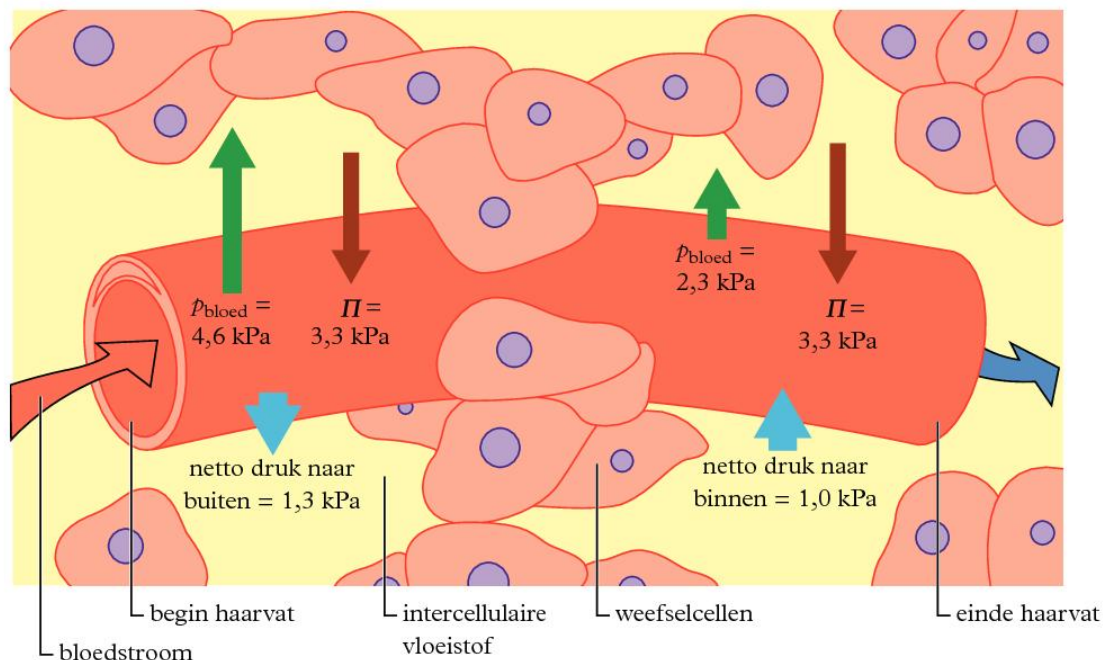


Bloedverdeling over de organen F

verdeling van bloed over organen in %

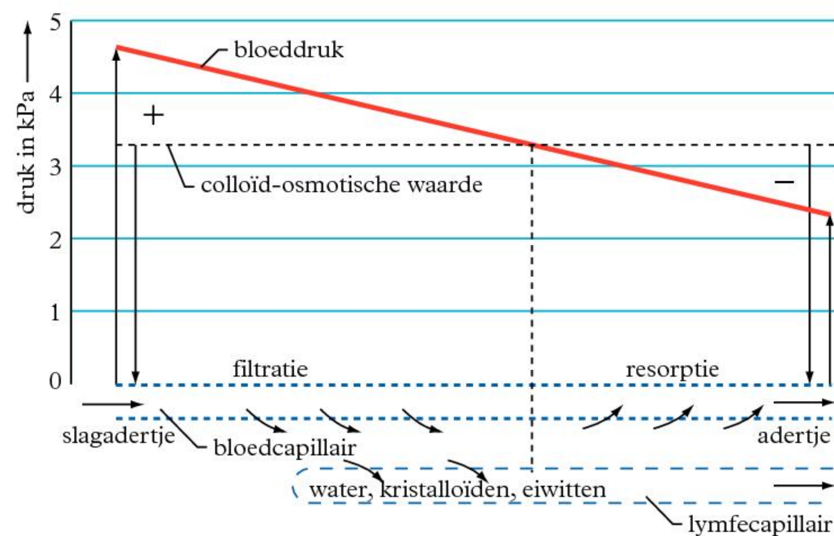
	buikorganen	hart	nieren	skelet	hersenen	huid	spieren
rust	20-25	4-5	20	3-5	15	5	15-20
zware arbeid	3-5	4-5	3	0,5-1	3-4	5-20	70-85

schematische weergave



■ Π = osmotische waarde
p_{bloed} = bloeddruk

grafische weergave



■ Links van de verticale stippellijn is de hydrostatische druk hoger dan de colloïd-osmotische waarde en heeft de overhand op de vochtuittreding. Rechts van deze stippellijn treedt resorptie op als gevolg van het overwicht van de colloïd-osmotische waarde. Al het uitgetreden eiwit en een gedeelte van het interstitiële vocht worden afgevoerd via de lymfecapillairen.

■ In de medische fysiologie is mmHg als eenheid van bloeddruk blijvend erkend; zie tabel 5.

samenstelling	*hoeveelheid*
vaste bestanddelen (hematocriet)	42 – 47 volume-% van het bloed
	aantal per mm^3 *bloed*
• rode bloedcellen	$4{,}2 \cdot 10^6 - 6{,}2 \cdot 10^6$
• bloedplaatjes	$0{,}14 \cdot 10^6 - 0{,}34 \cdot 10^6$
• witte bloedcellen	$5 \cdot 10^3 - 10 \cdot 10^3$
- neutrofiele granulocyten	40 – 70%
- lymfocyten	20 – 40%
- monocyten	2 – 10%
- eosinofiele granulocyten	1 – 6%
- basofiele granulocyten	< 1%
plasma	53 – 58 volume-% van het bloed
• water	92 volume-% van het plasma
• eiwitten	7 volume-% van het plasma
	concentratie in $g\,L^{-1}$ *plasma*
- albumine ($M = 6{,}9 \cdot 10^4$)	32 – 50
- globulinen ($M = 1 \cdot 10^4$ - $2 \cdot 10^7$)	15 – 30
- fibrinogeen	2 – 5
• overige stoffen	*concentratie in* $g\,L^{-1}$ *plasma*
- glucose	0,6 – 1,3
- cholesterol	1,3 – 3,5
- bilirubine	0,0 – 0,011
- ureum	0,14 – 0,40
- natriumionen	3,1 – 3, 6
- kaliumionen	0,12 – 0,21
- calciumionen	0,08 – 0,12
- ijzerionen	0,0004 – 0,0021
- chloride-ionen	3,6 – 3,8
- diverse andere stoffen	sterk wisselend

■ De hoeveelheid bloed bij de mens bedraagt ca. $\frac{1}{13}^{e}$ deel van het lichaamsgewicht.

I Bloedcellen: ontwikkeling

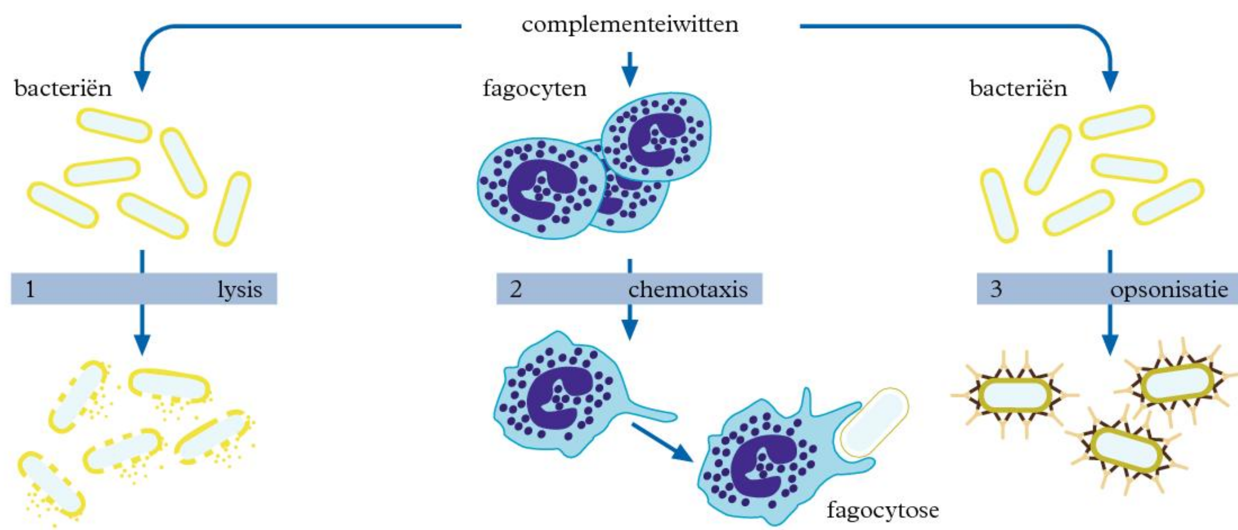
BEENMERG
BLOED
LYMFATISCH WEEFSEL
THYMUS

pluripotente stamcel
lymfoïde stamcel
pre-B cel
B-cel
plasmacel
pre-T cel
T-helper
T-regulator/suppressor
T-cytotoxische
geactiveerde lymfocyt
geheugencellen
pre-NK cel
NK cel
myeloïde stamcel
dendritisch-monocytaire stamcel
pre-dendritische cel
dendritische cel
monoblast
macrofaag
10 μm
myelocytaire stamcel
myeloblast
promyelocyt
granulocyt
pro-erytroblast
erytroblast
EPO
rode bloedcel erytrocyt
8 μm
megakaryoblast
megakaryocyt
bloedplaatjes

- Sommige stadia zijn niet getekend omdat er geen verschillen in anatomie met het voorstadium zijn.
- De rijpingsprocessen worden door vele hormonen beïnvloed, waaronder EPO en interleukinen (IL).

J Afweer

1 Complementsysteem



Niet-specifieke barrières tegen binnendringen van micro-organismen 2

lichaams-oppervlak	*fysische barrière voor micro-organismen*	*biochemische barrière voor micro-organismen*
huid	een voor de meeste micro-organismen ondoordringbare aaneengesloten laag van dode, verhoornde cellen	verlaagde pH door melkzuur en vetzuren uit zweetklieren en talgklieren; remmende stoffen uitgescheiden door commensale bacteriën
neusholte	neusharen (houden deeltjes tegen) en trilhaar-epitheel (zorgt voor slijmstroom naar de keelholte, waar het slijm wordt doorgeslikt)	lysozym (tast bacteriecelwand aan)
luchtpijp	trilhaarepitheel (zie neusholte)	
ogen	stroming van traanvocht	lysozym (tast bacteriecelwand aan)
mond- en keelholte	speeksel en slijm (wordt doorgeslikt)	lysozym en thiocyanaat (remmende stoffen)
maag		zeer lage pH en eiwitverterende enzymen
darmen	vloeistofstroom (snel bij diarree)	eiwitverterende enzymen; remmende stoffen, uitgescheiden door autochtone bacteriën
urinewegen	vloeistofstroom	
vagina	slijmlaag	lage pH (door commensale bacteriën)

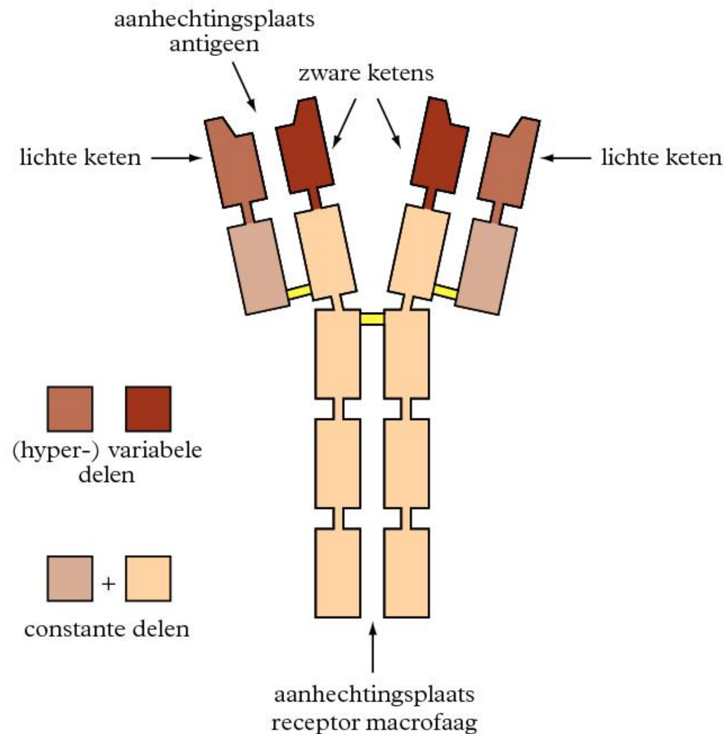
Niet-specifieke en specifieke afweer 3

niet-specifieke afweer (aangeboren)	*specifieke afweer (verworven)*
fysische barrière (huid, slijmvliezen)	humorale immuniteit door B-lymfocyten (productie antistoffen)
chemische barrière (lysozymen, complement-eiwitten en interferonen)	cellulaire immuniteit door T-lymfocyten (T-helper-cellen, cytotoxische T-cellen en T-suppressorcellen)
'natural killer'-cellen	
fagocyten	
ontstekingsreactie en koorts	
gericht tegen meerdere typen ziekteverwekkers	telkens gericht tegen één type ziekteverwekker
weerstand blijft gelijk, ook na herhaalde infectie	weerstand neemt toe na herhaalde infectie door de vorming van geheugencellen

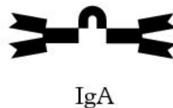
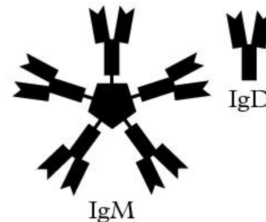
Ontstekingsreactie 4

Bij infectie of schade aan een weefsel geven getroffen cellen mediatoren (signaalmoleculen) af waardoor
- doorbloeding van het weefsel toeneemt (door bloedvatverwijding)
- fagocyten door chemotaxis naar de ontstekingshaard migreren
- langskomende fagocyten aan de haarvatwand hechten, m.b.v. niet-specifieke receptoren (→ fagocytose)
- doorlaatbaarheid van de haarvaten groter wordt (→ uitlekken van vocht en plasma-eiwitten → weefselzwelling)

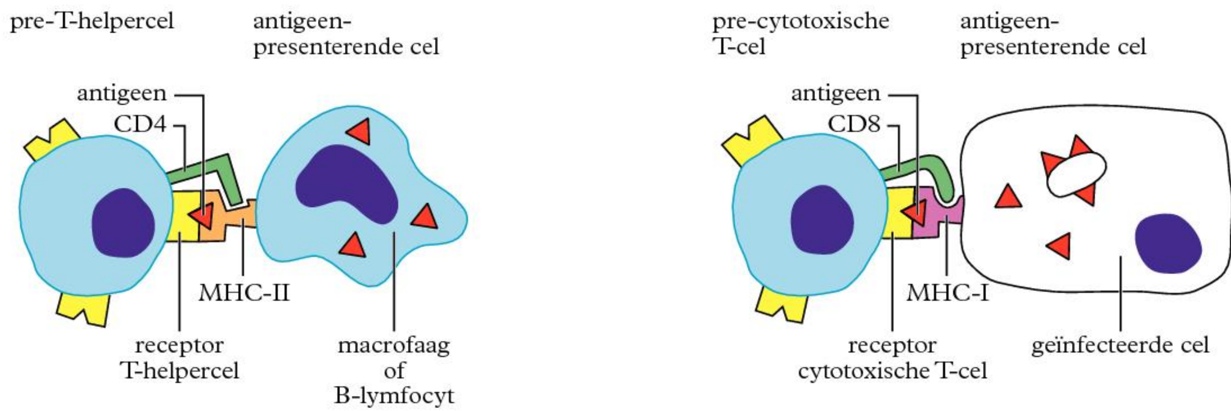
basisstructuur



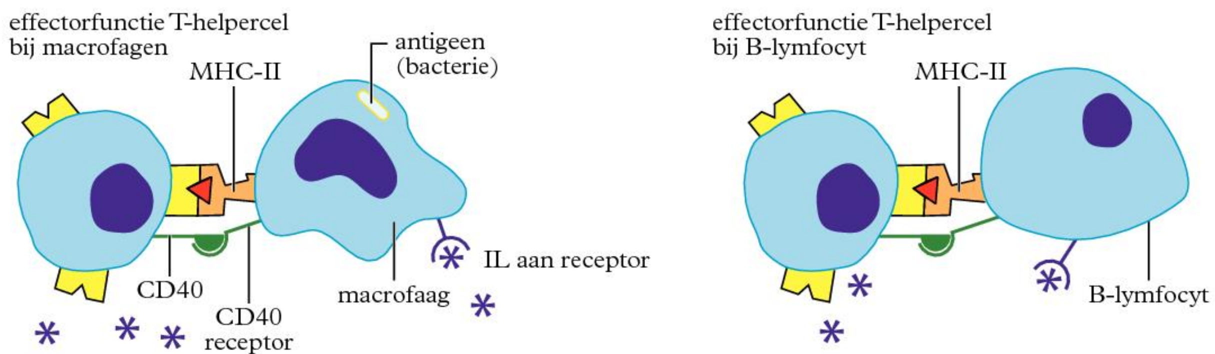
enkele eigenschappen van de hoofdgroepen van antistoffen

	IgG	IgA	IgM	IgD	IgE
molecuul-massa in u	150 000	385 000	900 000	185 000	200 000
% van totale hoeveelheid antistoffen	80	13	6	0 - 1	0,002
voorkomen/ kenmerken	in lichaams-vloeistoffen, vooral buiten de vaten: - in geringe mate in speeksel - darmsap - geringe hoeveelheid in moedermelk	in slijm en andere afscheidings-producten: - traanvocht - speeksel - luchtwegen - darmsap - vaginaal slijm - moedermelk in lymfeknoop van keel en neus, darmslijmvlies en luchtwegen	in lichaams-vloeistoffen, bevorderen de klontering	aan het opper-vlak van B-lymfocyten	in lichaams-vloeistoffen: - slijm luchtwegen - darmsap bij overmaat vorming: allergische reacties
kunnen door placenta heen	+	–	–	–	–
binding aan macrofagen	+	±	–	–	–
structuur	 IgG	 IgA	 IgM	 IgD	 IgE

binding van T-cellen aan antigeenpresenterende cellen

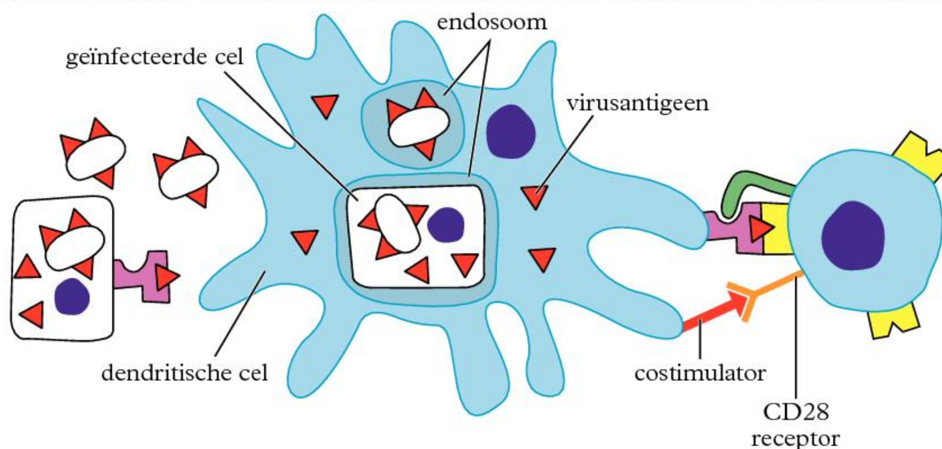


versterkt

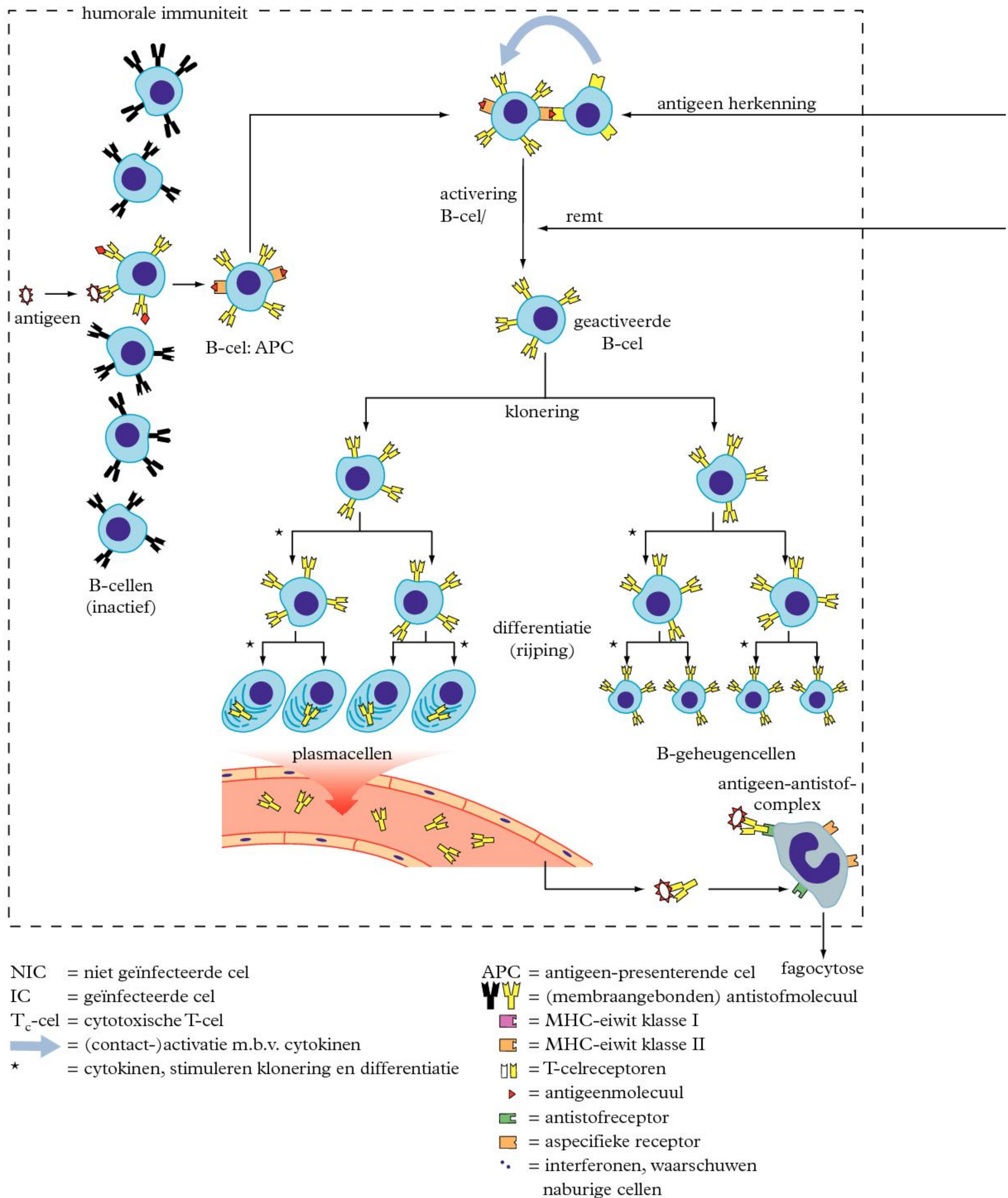


- CD4 en CD8 zijn koppelingseiwitten.
- Door de MHC-moleculen kunnen T-cellen onderscheid maken tussen eigen en vreemde peptiden.

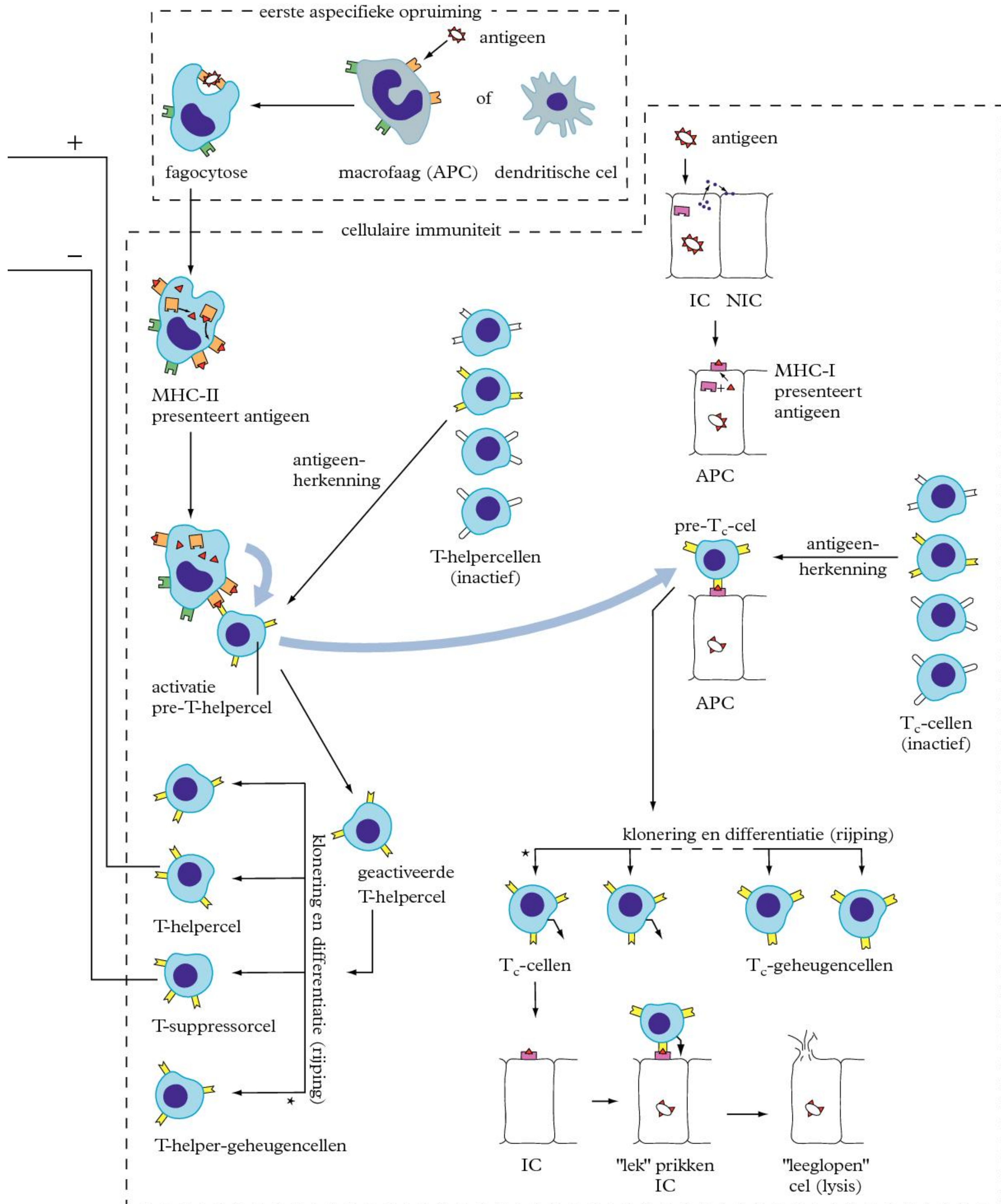
kruispresentatie van virus of geïnfecteerde cel door dendritische cellen aan cytotoxische T-cel



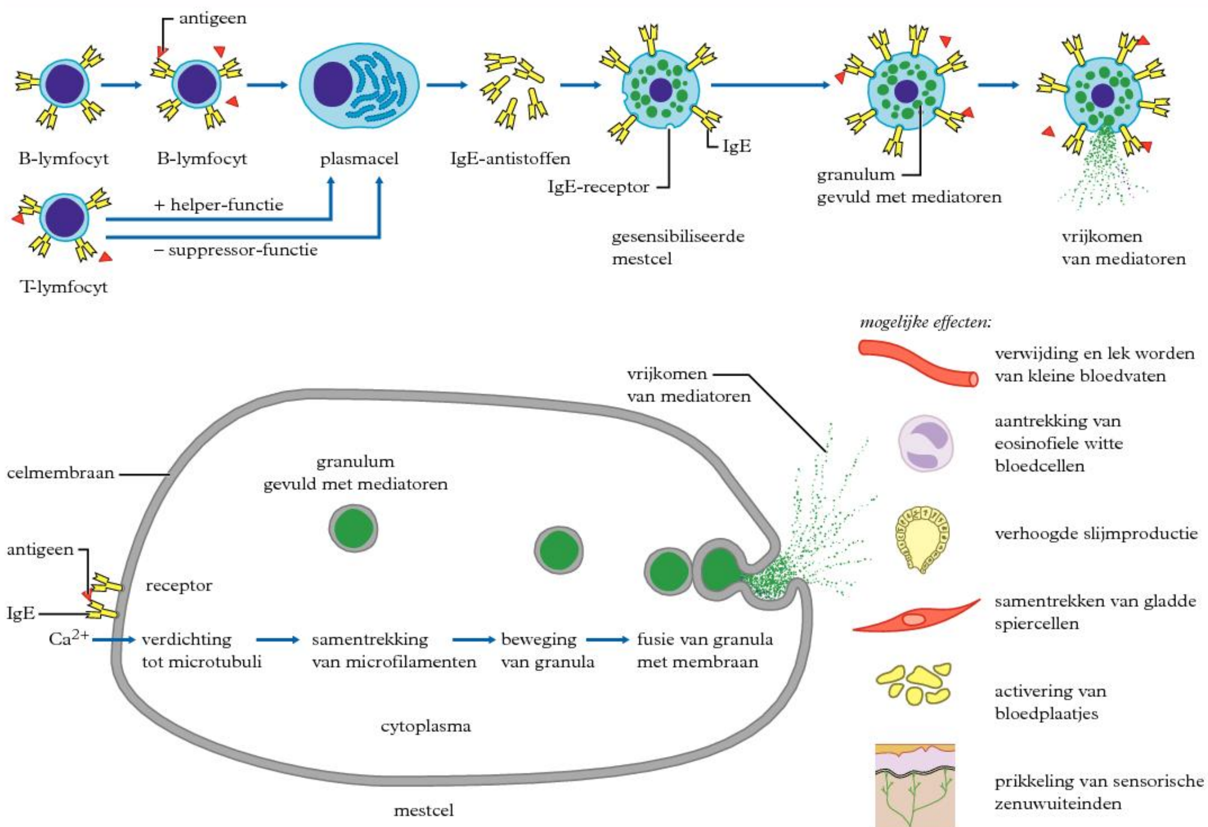
2 Humorale en cellulaire immuniteit



■ Bacteriën en hun toxinen worden hoofdzakelijk onschadelijk gemaakt via de humorale immuniteit, virussen en kankercellen (met lichaamsvreemde eiwitten) door de cellulaire immuniteit, aangevuld met humorale immuniteit.

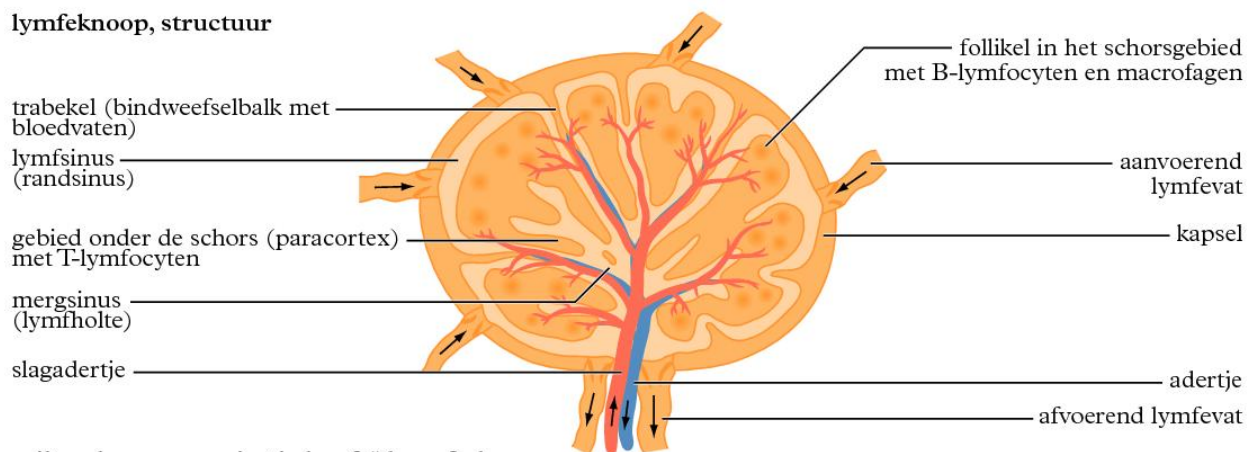

eerste aspecifieke opruiming
antigeen
of
fagocytose
macrofaag (APC)
dendritische cel
+
–
cellulaire immuniteit
antigeen
IC NIC
MHC-II
presenteert antigeen
MHC-I
presenteert
antigeen
APC
antigeen-
herkenning
T-helpercellen
(inactief)
pre-T_c-cel
antigeen-
herkenning
activatie
pre-T-helpercel
APC
T_c-cellen
(inactief)
klonering en differentiatie (rijping)
geactiveerde
T-helpercel
T-helpercel
klonering en differentiatie (rijping)
T-suppressorcel
*
T-helper-geheugencellen
*
T_c-cellen
T_c-geheugencellen
IC
"lek" prikken
IC
"leeglopen"
cel (lysis)

M Allergische reacties

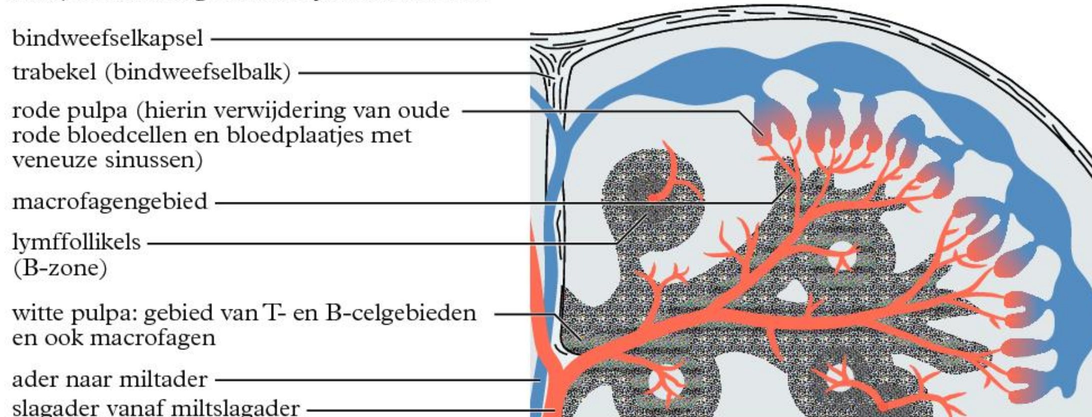


N Lymfevaten en lymfoïde organen

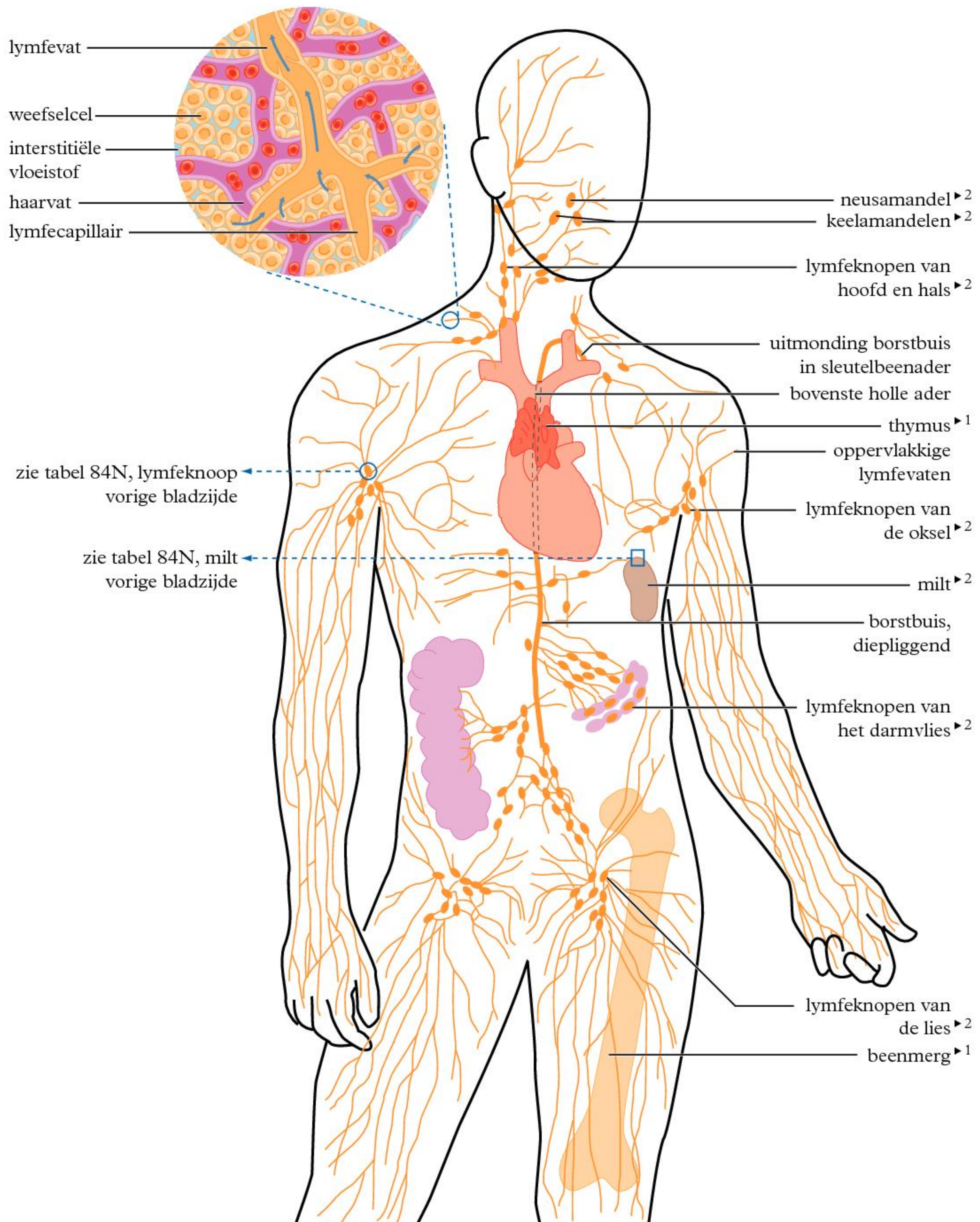
lymfeknoop, structuur



milt, schema organisatie lymfoïd weefsel

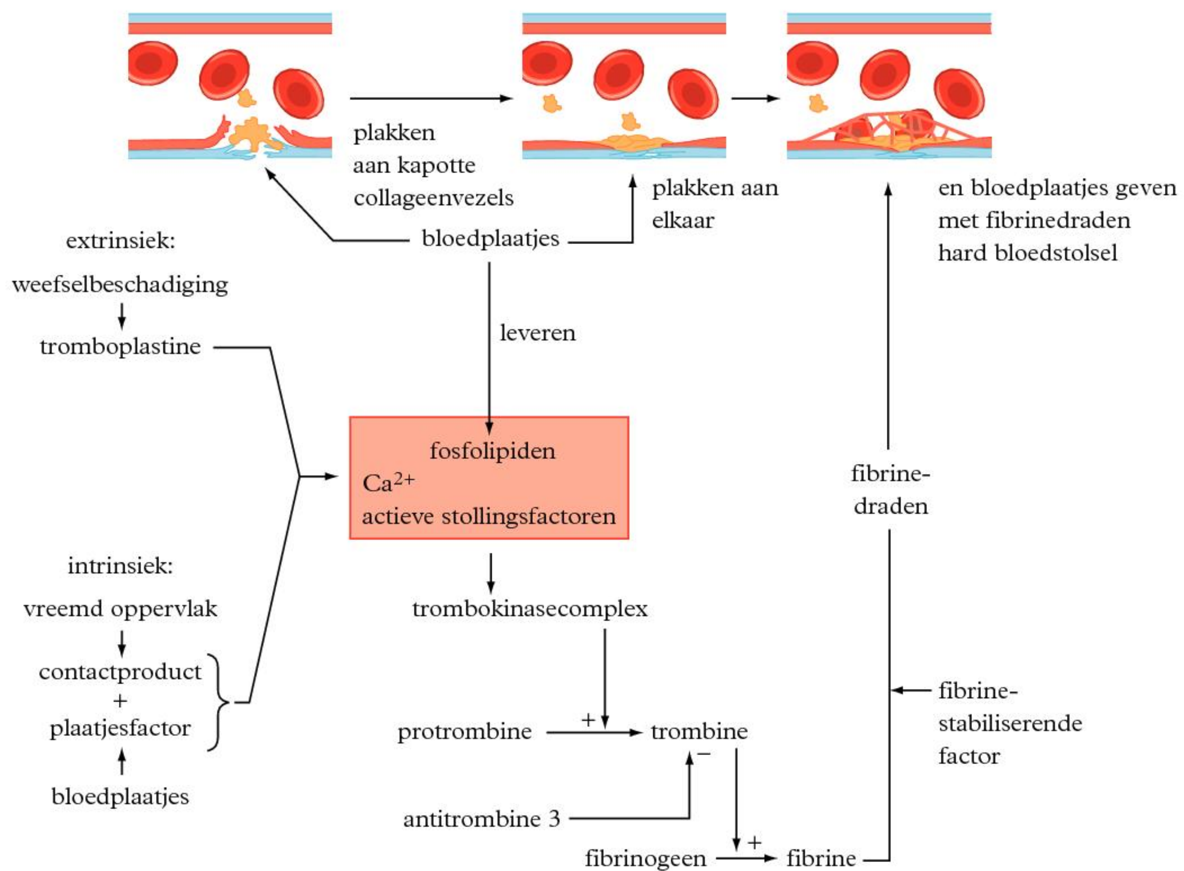


vervolg

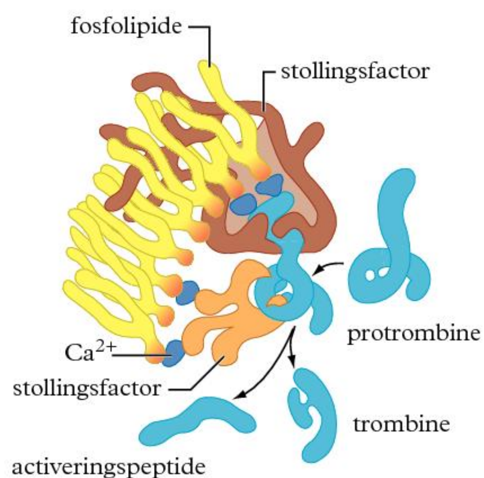


1 ▶ primaire weefsels van het immuunsysteem

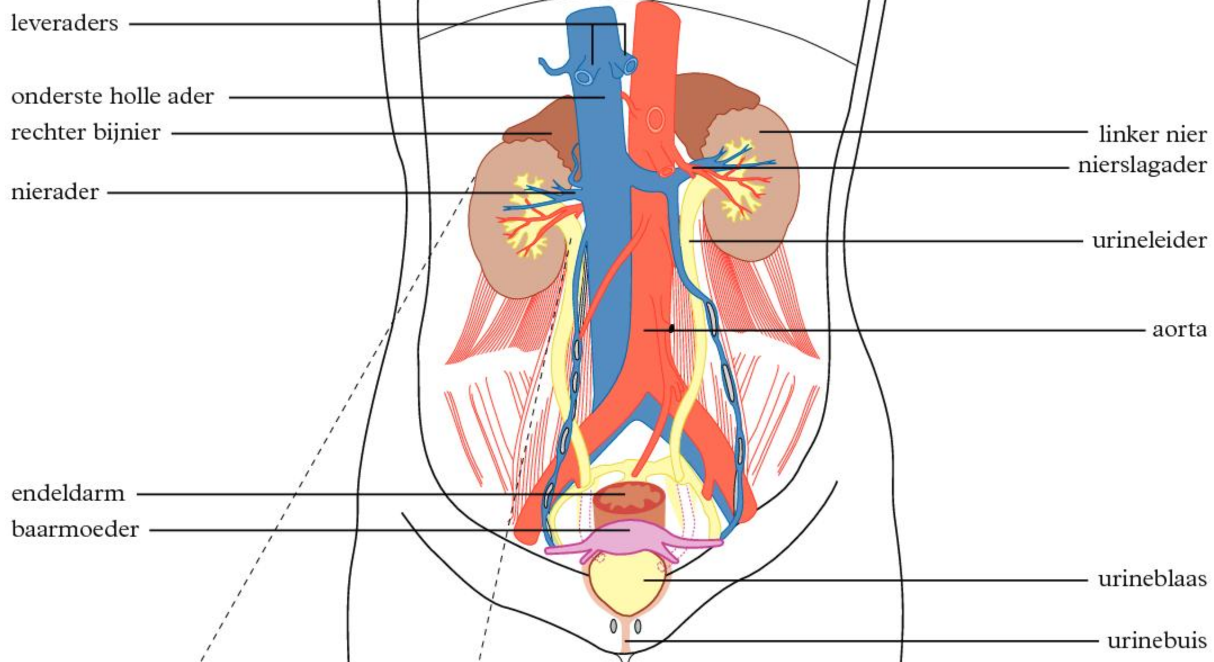
2 ▶ secundaire weefsels van het immuunsysteem



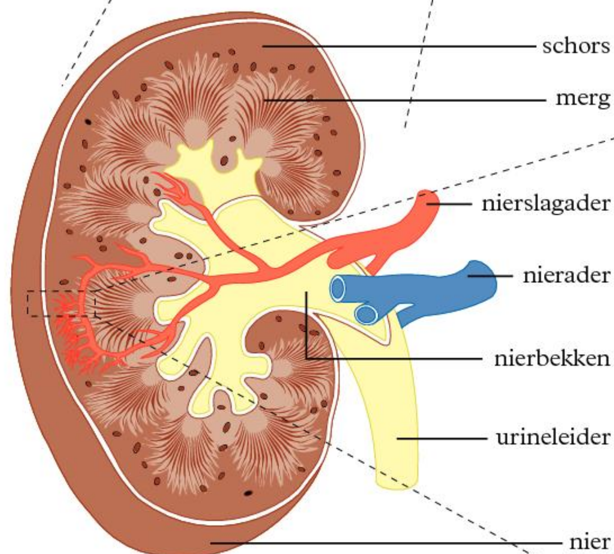
splitsing van pro-trombine door het trombokinasecomplex



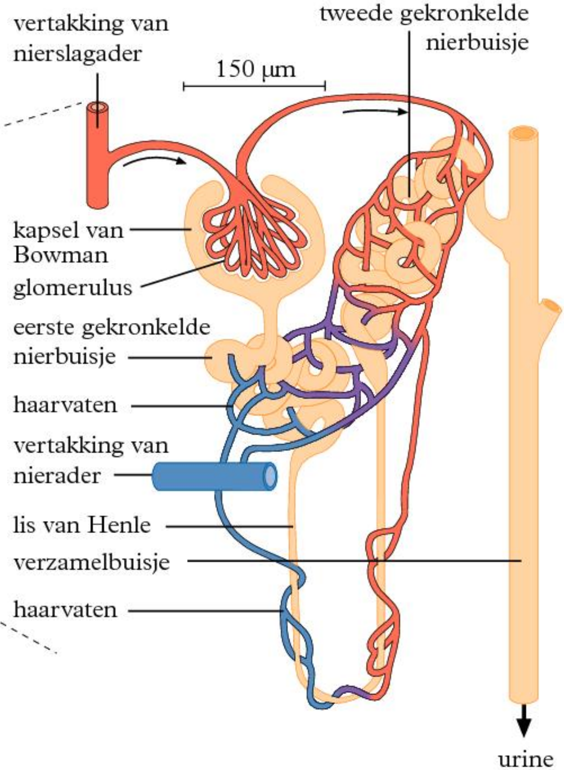
ligging in het lichaam



nier, opengewerkt



nefron

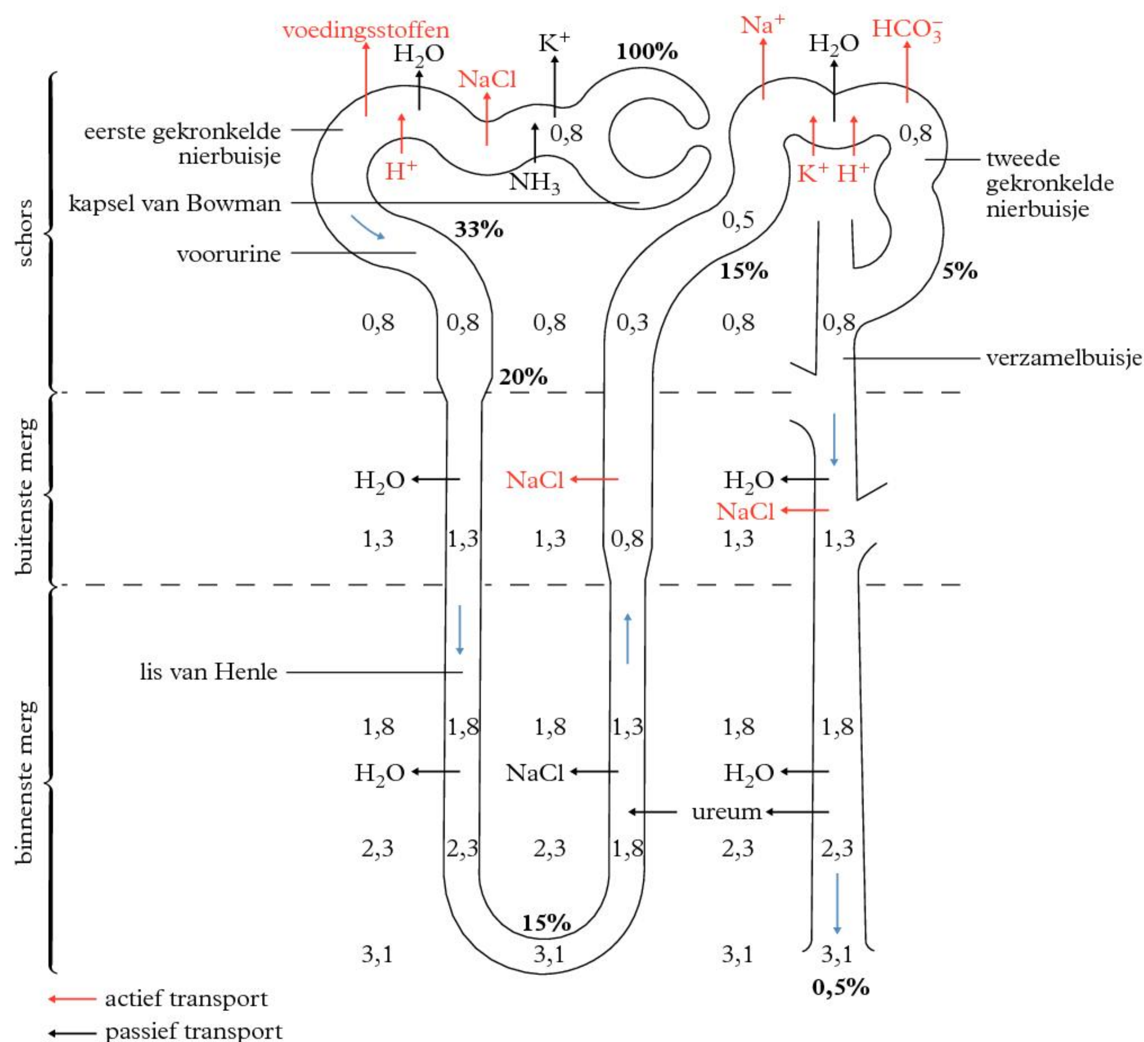


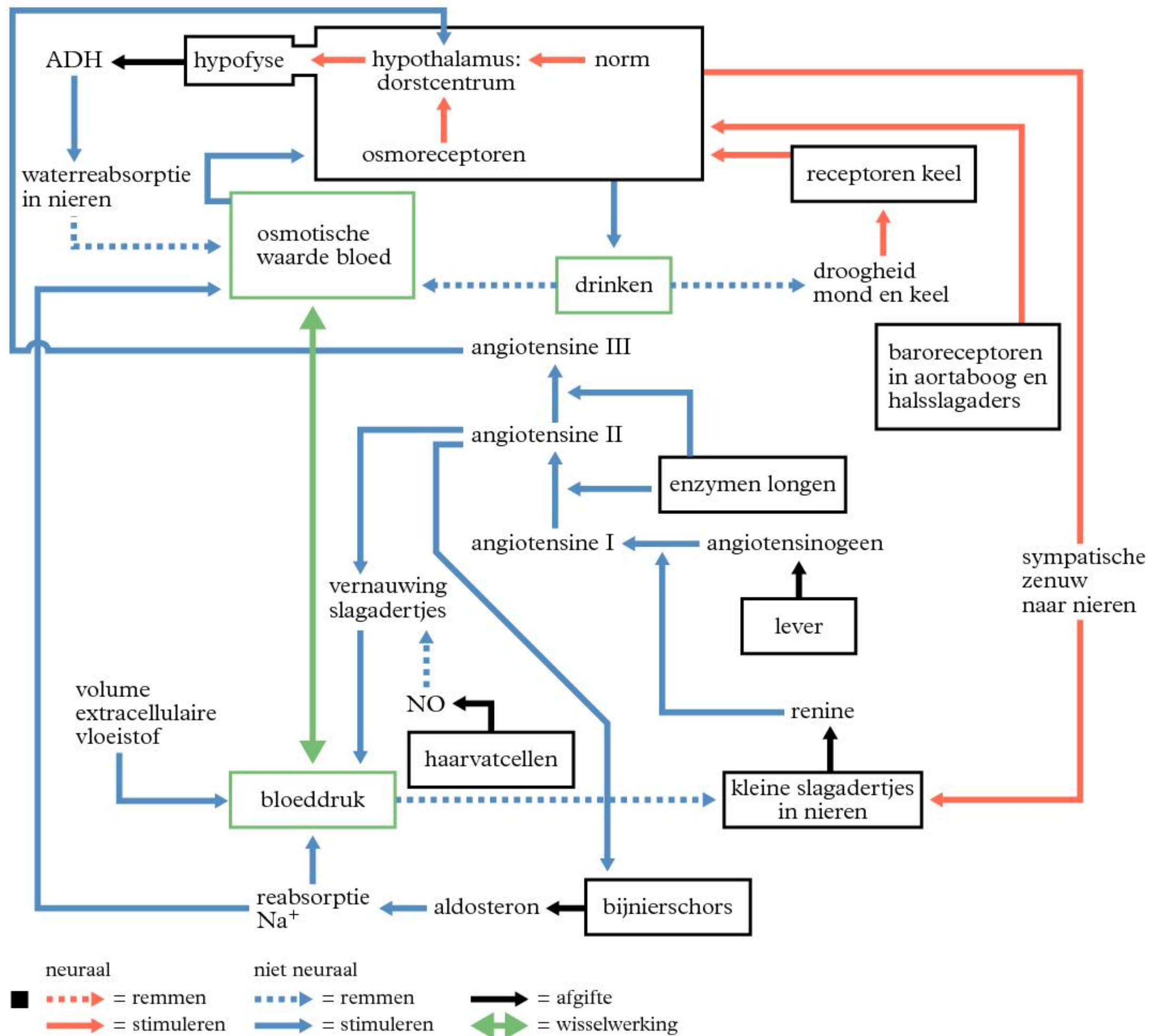
B Samenstelling bloedplasma en urine

	bloedplasma bevat (in %)	*voorurine bevat (in %)*	*urine bevat (in %)*	*concentratie-veranderingsfactor (urine/voorurine)*
eiwitten	7,5	–	–	–
glucose	0,1	0,1	–	–
waterstofcarbonaat	0,16	0,16	0,1	1 ×
natrium	0,4	0,4	0,35	1 ×
chloride	0,36	0,36	0,6	2 ×
calcium	0,01	0,01	0,03	3 ×
magnesium	0,005	0,005	0,02	4 ×
kalium	0,02	0,02	0,15	7 ×
fosfaat	0,025	0,025	0,4	16 ×
sulfaat	0,005	0,005	0,12	24 ×
ureum	0,03	0,03	2,0	67 ×
creatinine	0,001	0,001	0,07	70 ×

C Concentratieveranderingen in een niereenheid, nefron

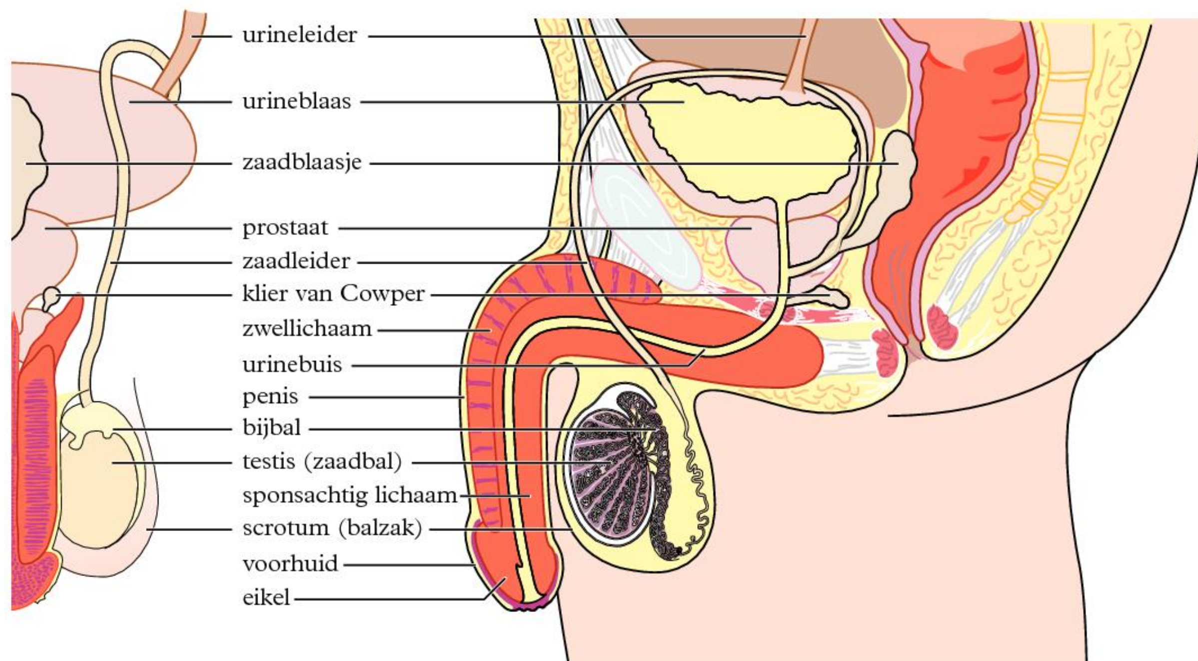
De percentages zijn de filtraatvolumes die nog aanwezig zijn tussen het kapsel van Bowman en het einde van het verzamelbuisje. De andere getallen geven de plaatselijke osmotische waarde in 10^6 Pa.



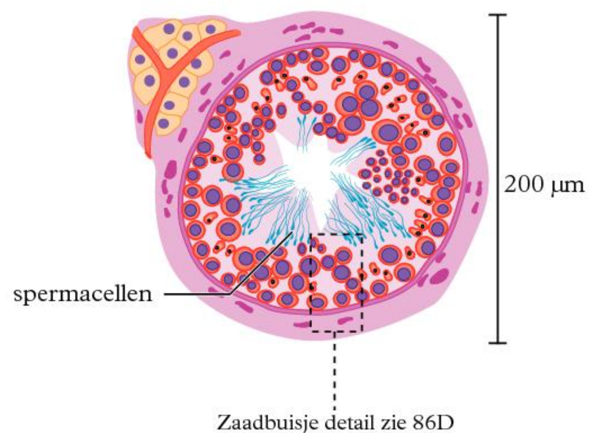

ADH
hypofyse
hypothalamus: dorstcentrum
norm
osmoreceptoren
waterreabsorptie in nieren
osmotische waarde bloed
receptoren keel
drinken
droogheid mond en keel
angiotensine III
baroreceptoren in aortaboog en halsslagaders
angiotensine II
enzymen longen
angiotensine I
angiotensinogeen
sympatische zenuw naar nieren
vernauwing slagadertjes
lever
volume extracellulaire vloeistof
NO
renine
haarvatcellen
bloeddruk
kleine slagadertjes in nieren
reabsorptie Na^+
aldosteron
bijnierschors
neuraal
= remmen
= stimuleren
niet neuraal
= remmen
= stimuleren
= afgifte
= wisselwerking

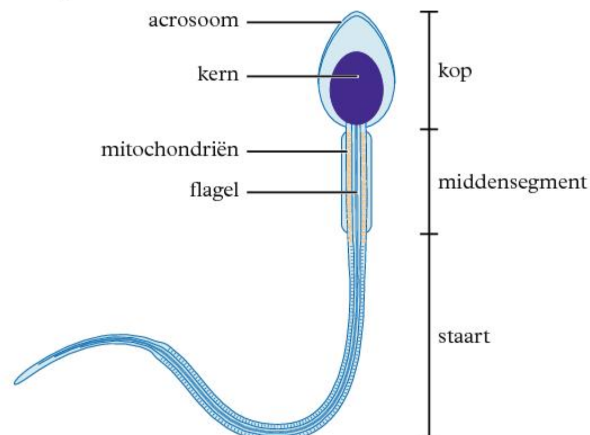
A Geslachtsorganen man

1 Ligging in het lichaam

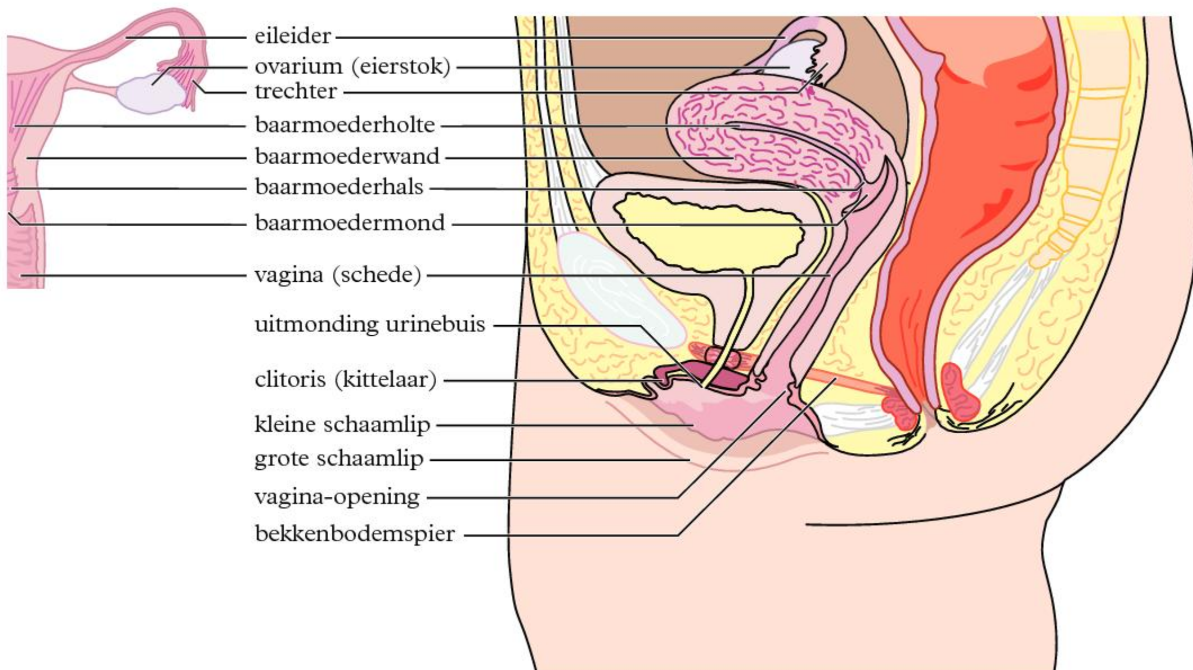


2 Zaadbuisje, spermacel

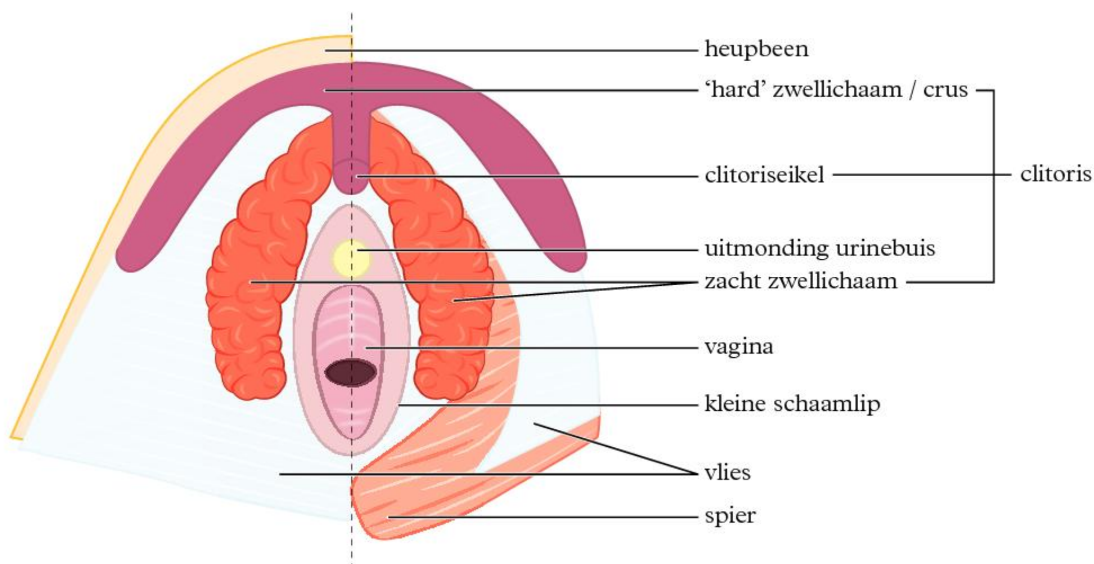




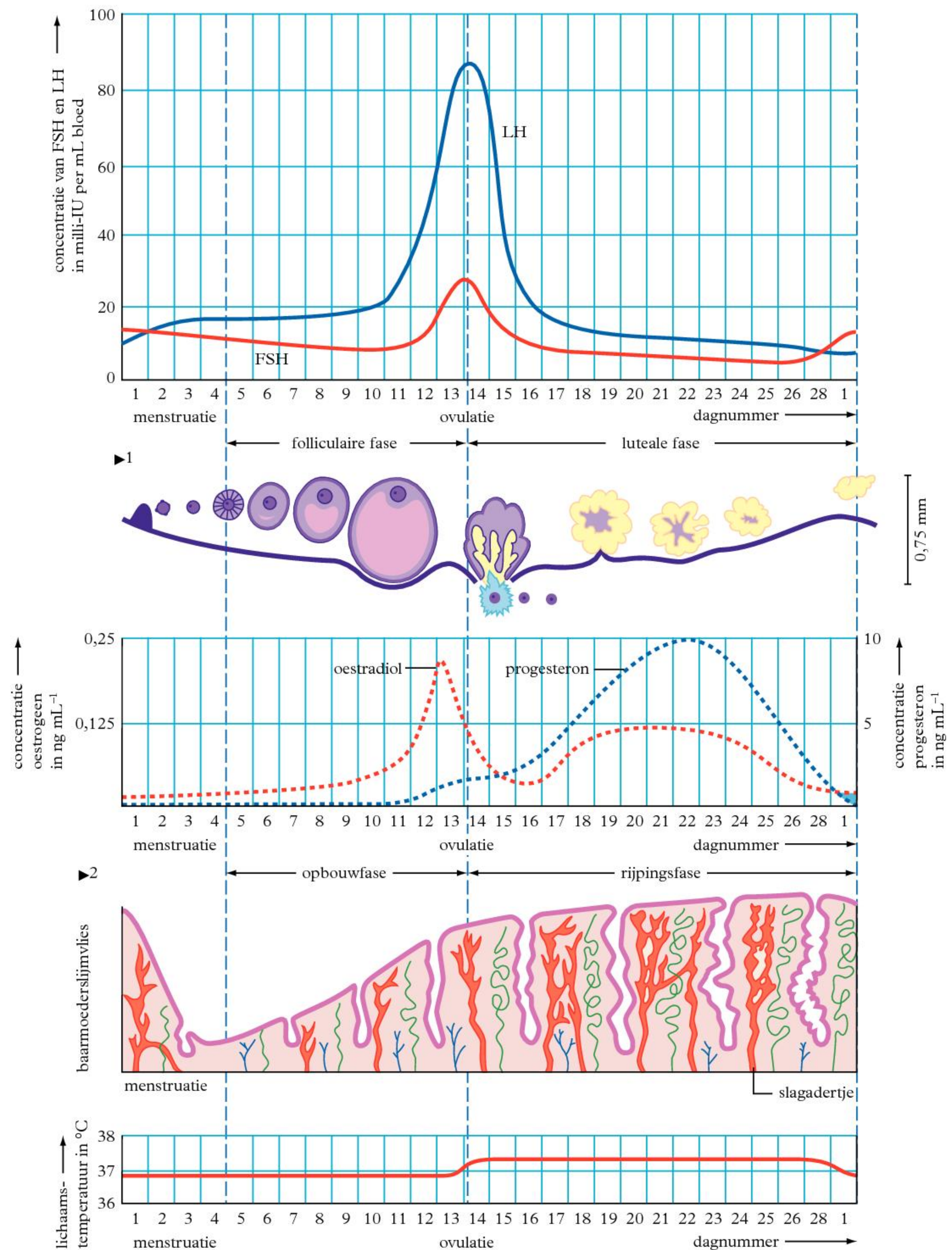
Ligging in het lichaam 1



Clitoriscomplex onderaanzicht 2

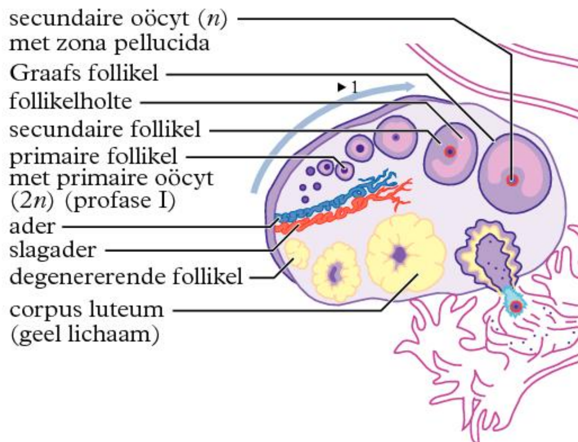


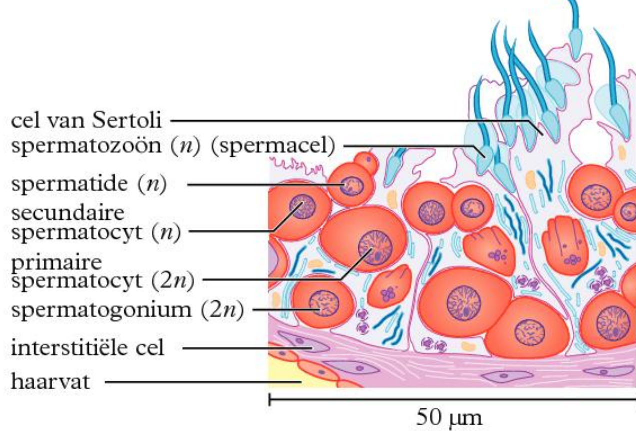
■ Links en rechts van de stippellijn verschillen door weglatingen.



■ Zwangerschap: zie tabel 86E.

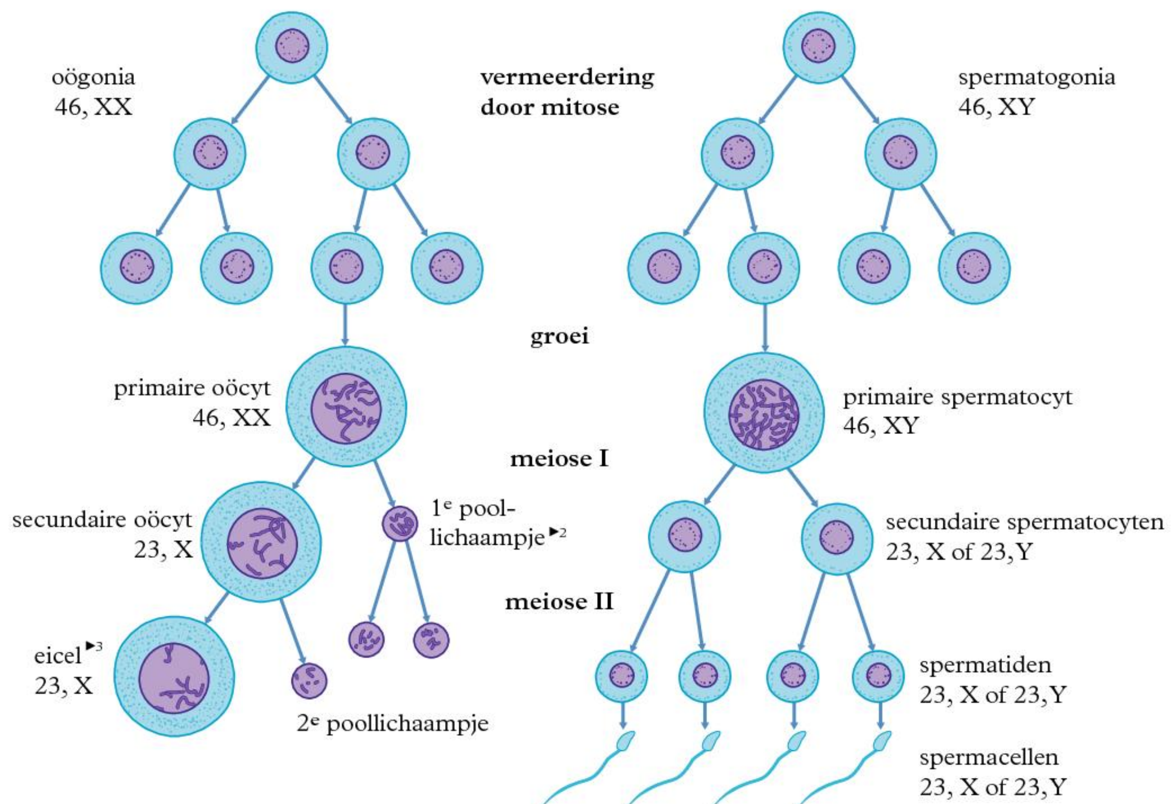
1 ▶ ontwikkeling follikel c.q. geel lichaam
2 ▶ ontwikkeling baarmoederslijmvlies met bloedvaten





■ De verschillende onderdelen zijn niet op dezelfde schaal getekend.

■ De verschillende stadia komen in werkelijkheid niet alle tegelijk voor.



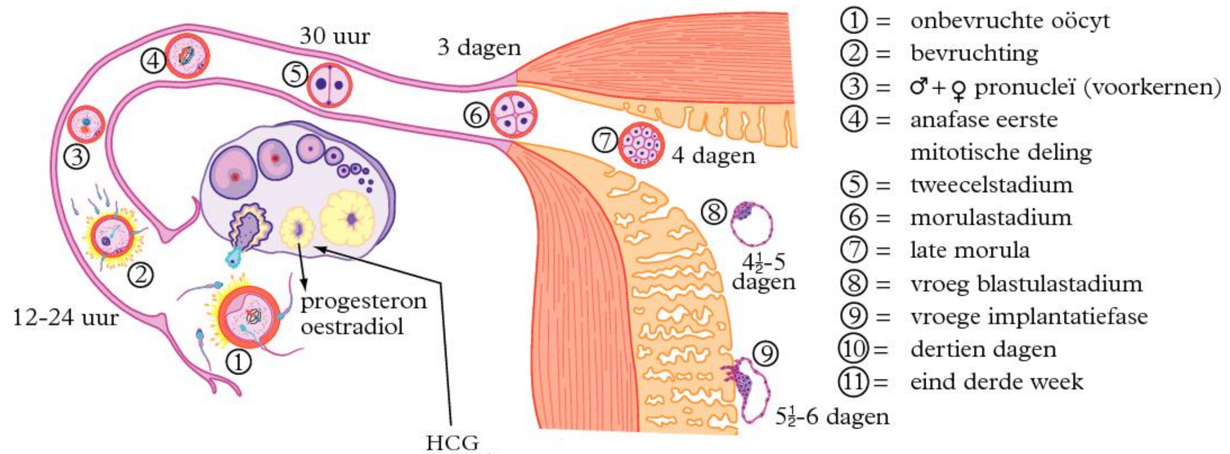
■ Mitose en meiose: zie tabel 76B.

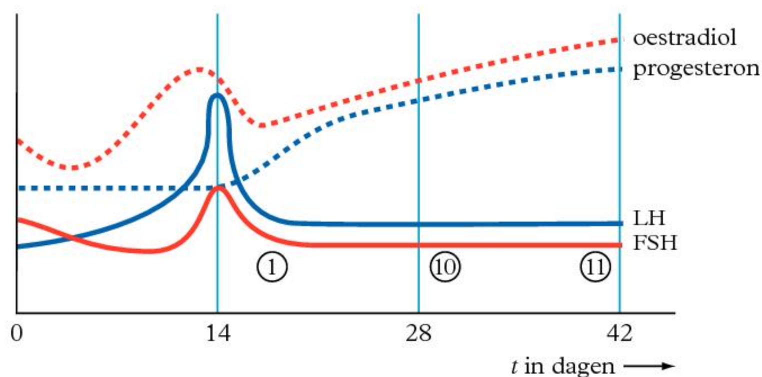
1 ▶ richting van ontwikkeling

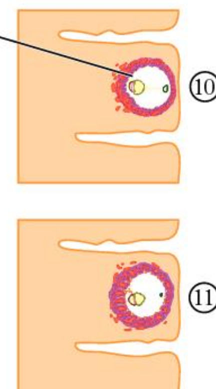
2 ▶ Bij het 1e poollichaampje kan wel of niet meiose II plaatsvinden.

3 ▶ Na bevruchting wordt de meiose II in de eicel voltooid.

eerste weken

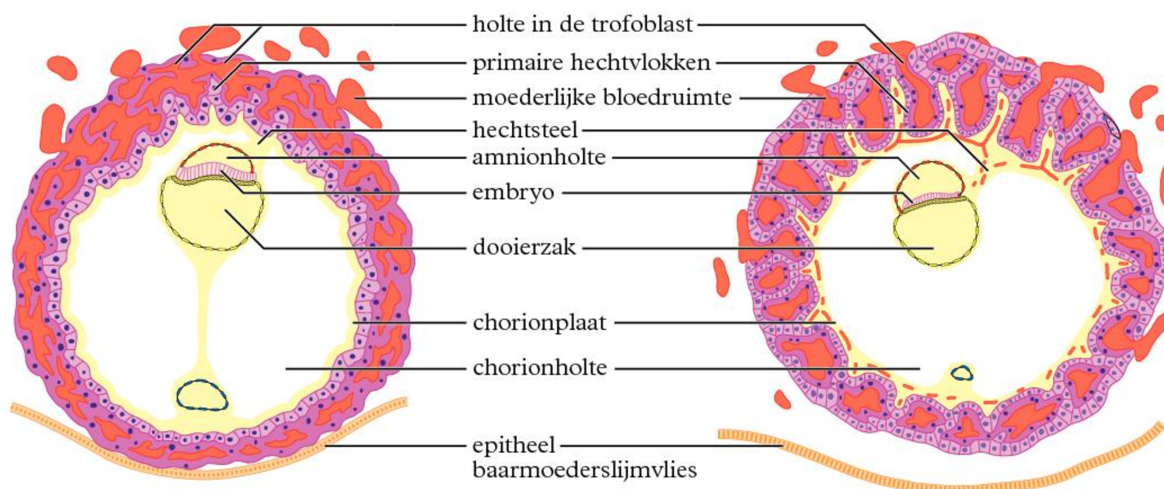






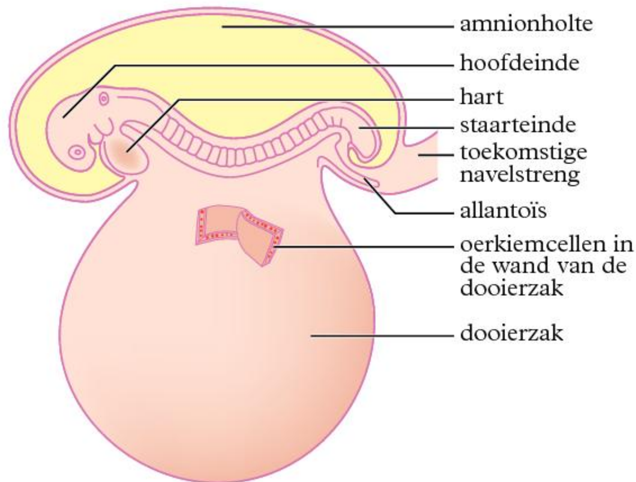
■ FSH/LH resp. oestrogeen/progesteron in onderlinge verhouding.

dertien dagen **einde derde week**

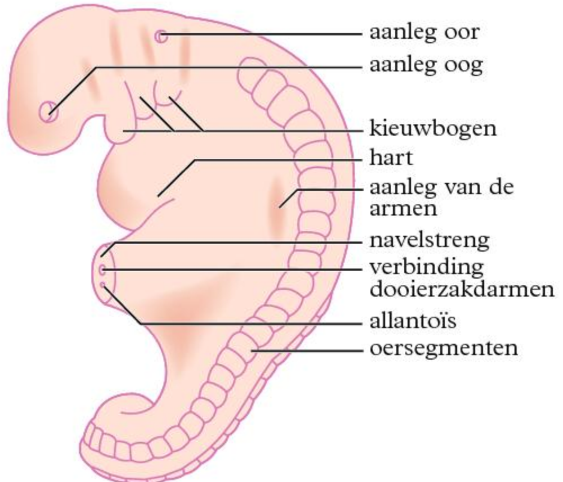


vervolg

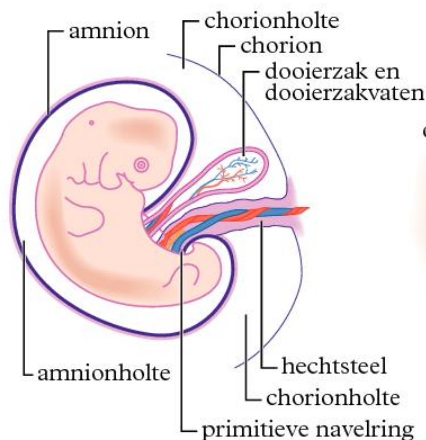
drie weken, alleen embryo met dooierzak



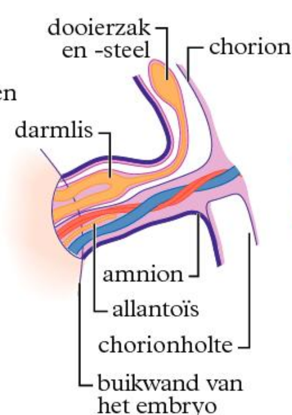
27 dagen, alleen embryo



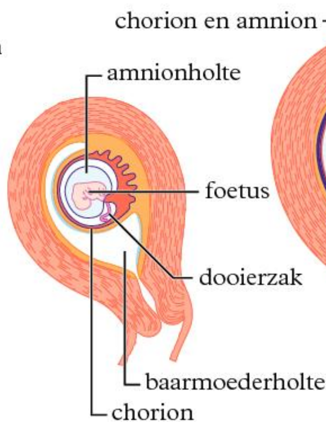
vijf weken, embryo



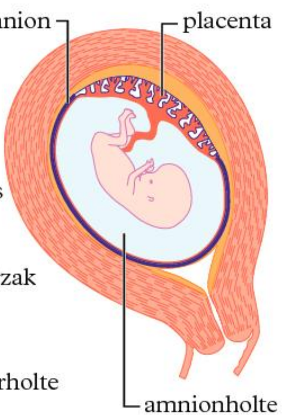
tien weken, navelstreng



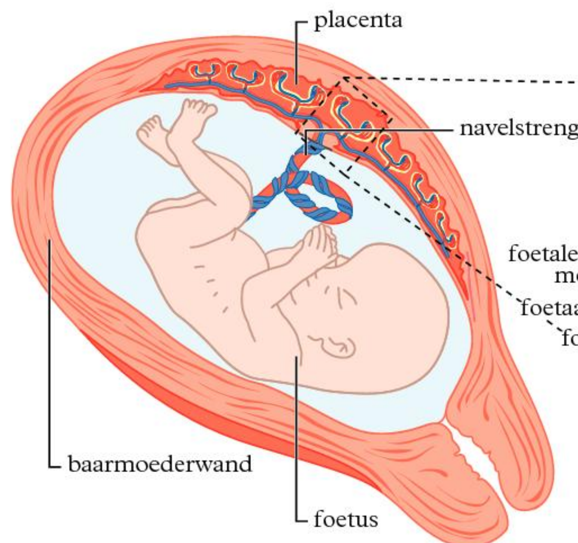
eind tweede maand



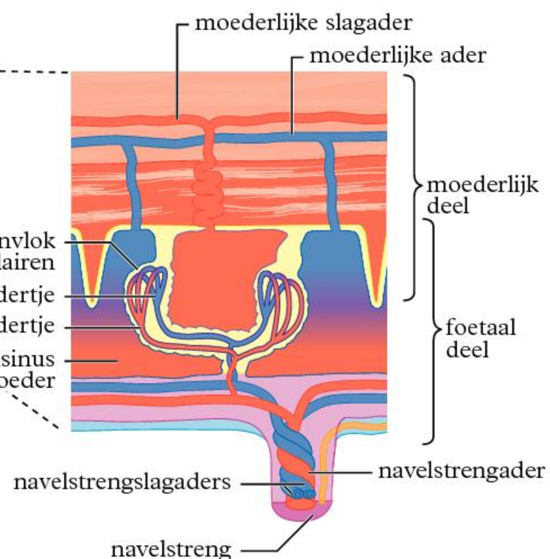
eind derde maand



drie-en-een halve maand

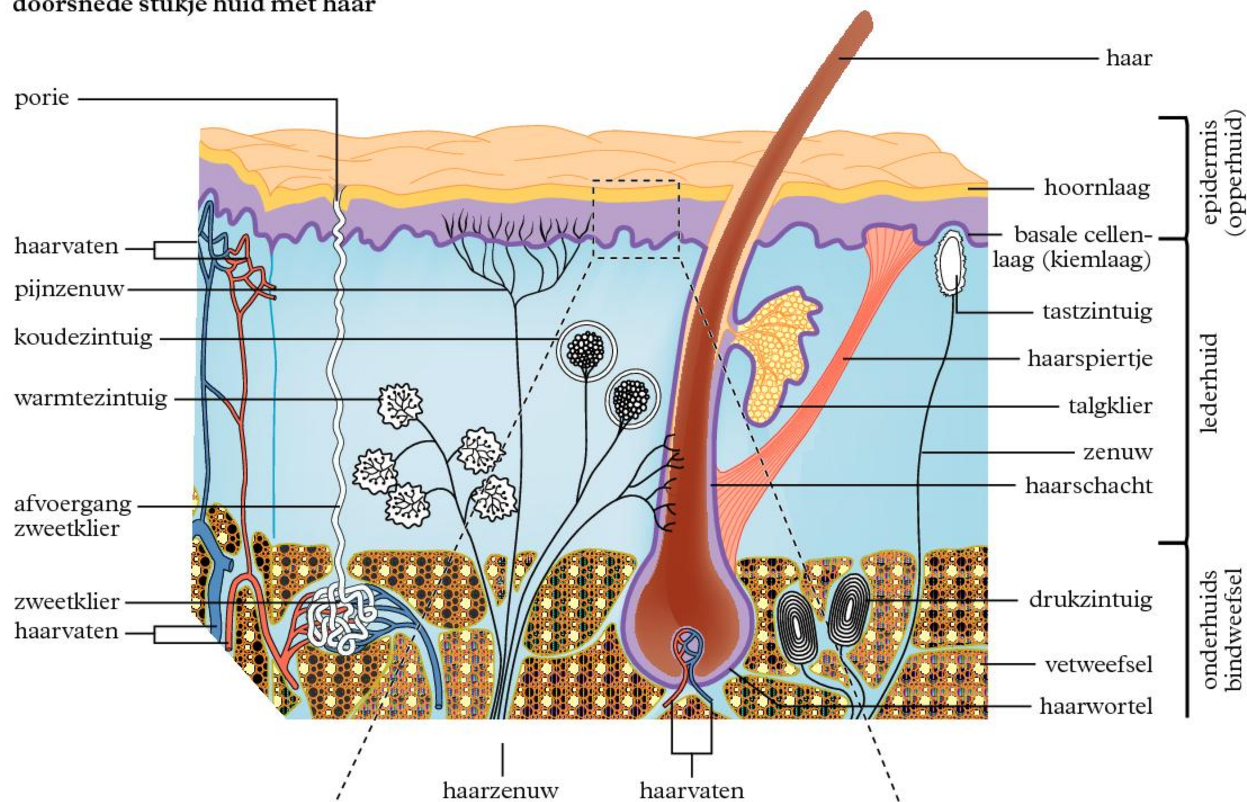


placenta, detail

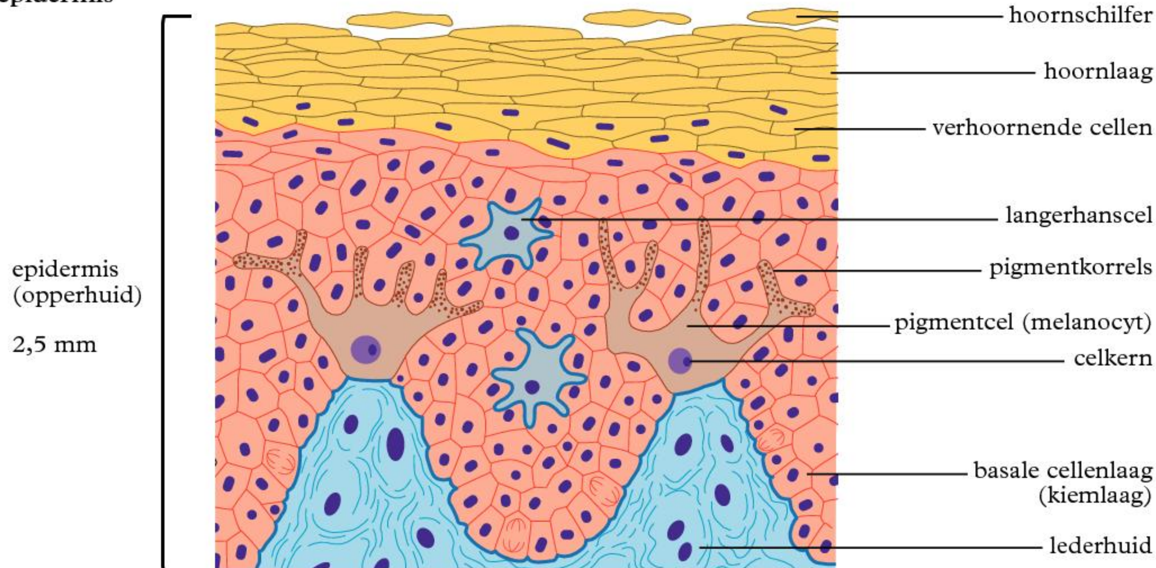


■ Foetale bloedsomloop: zie tabel 84B.

doorsnede stukje huid met haar

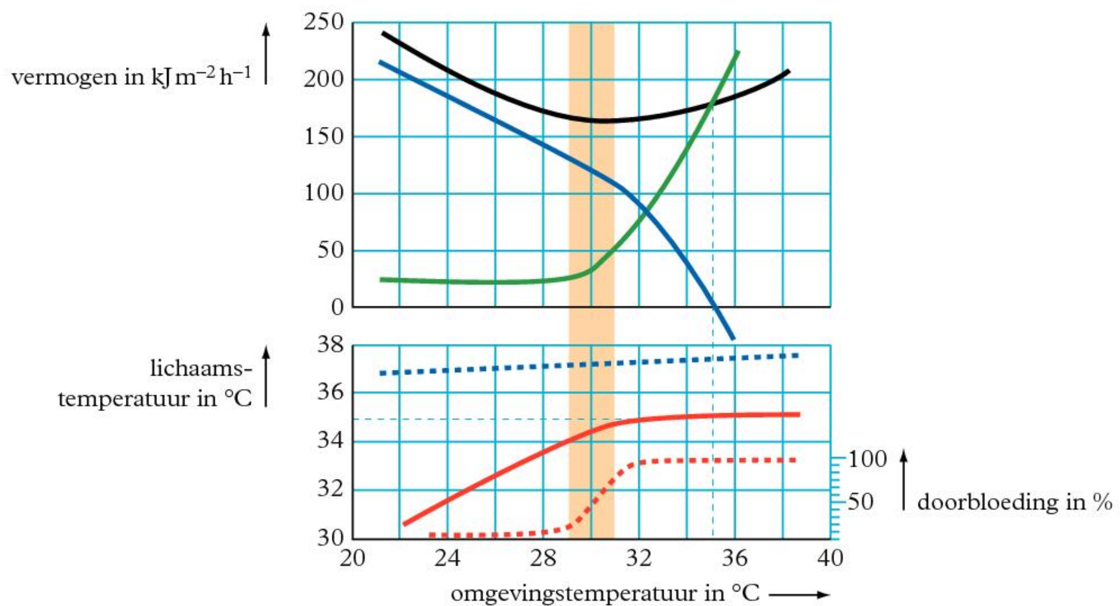


detail epidermis



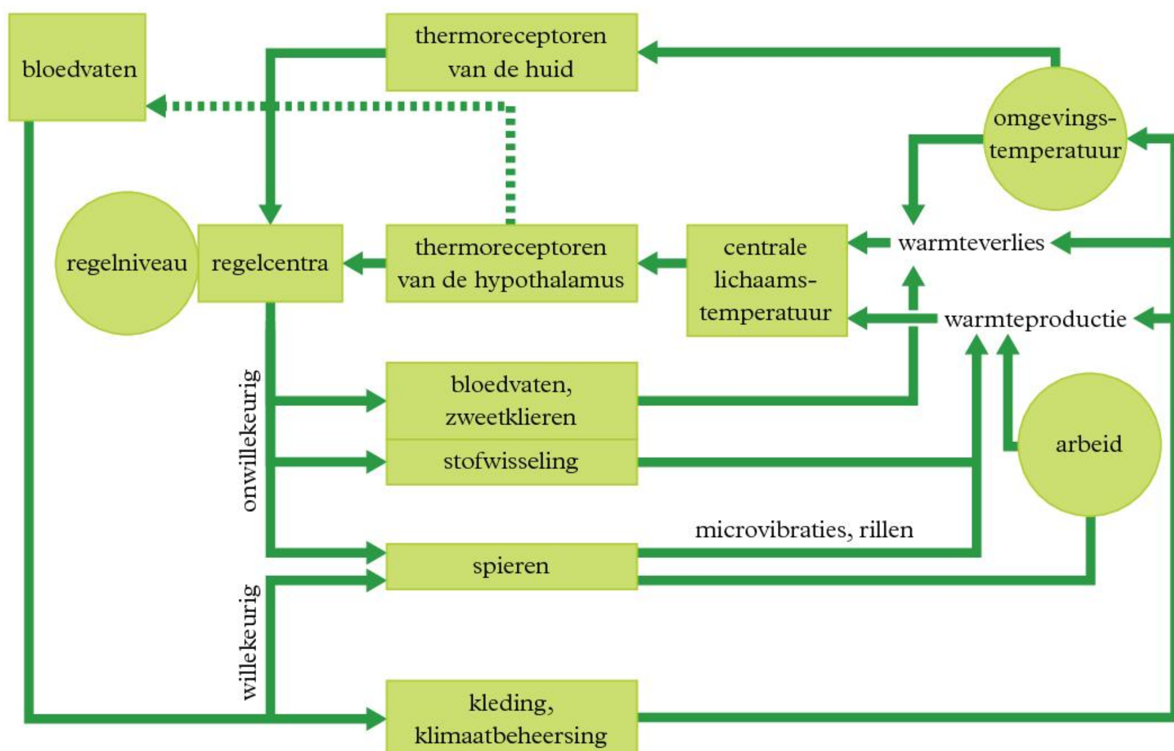
■ Zie ook tabel 27B.

warmteregulatie bij een rustende niet-geklede mens



= warmteproductie van het lichaam
= warmteafgifte door middel van straling en geleiding
= warmteafgifte door middel van verdamping
= huidtemperatuur
= rectale temperatuur
= doorbloeding huid

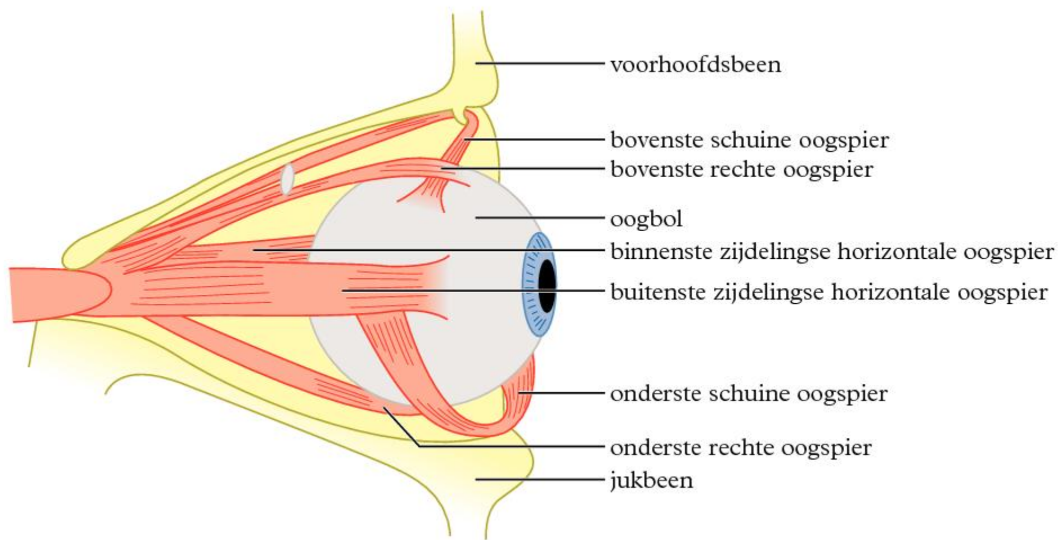
schema van de temperatuurregeling



87 Zintuigen

C Oog

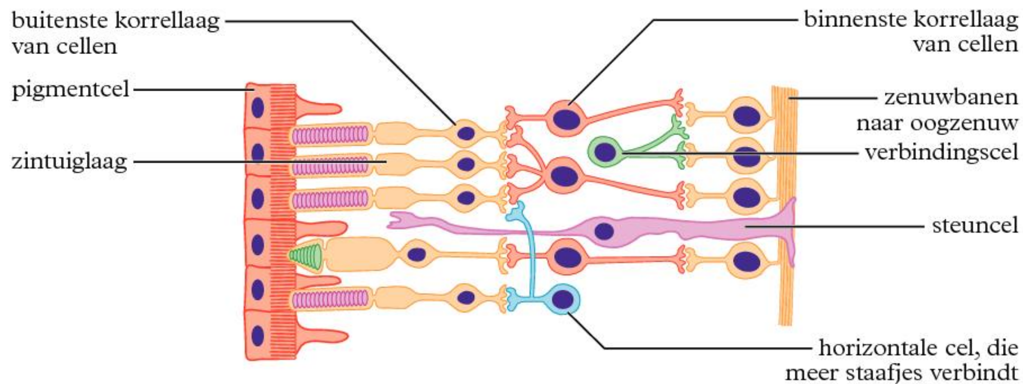
1 Oog met oogspieren



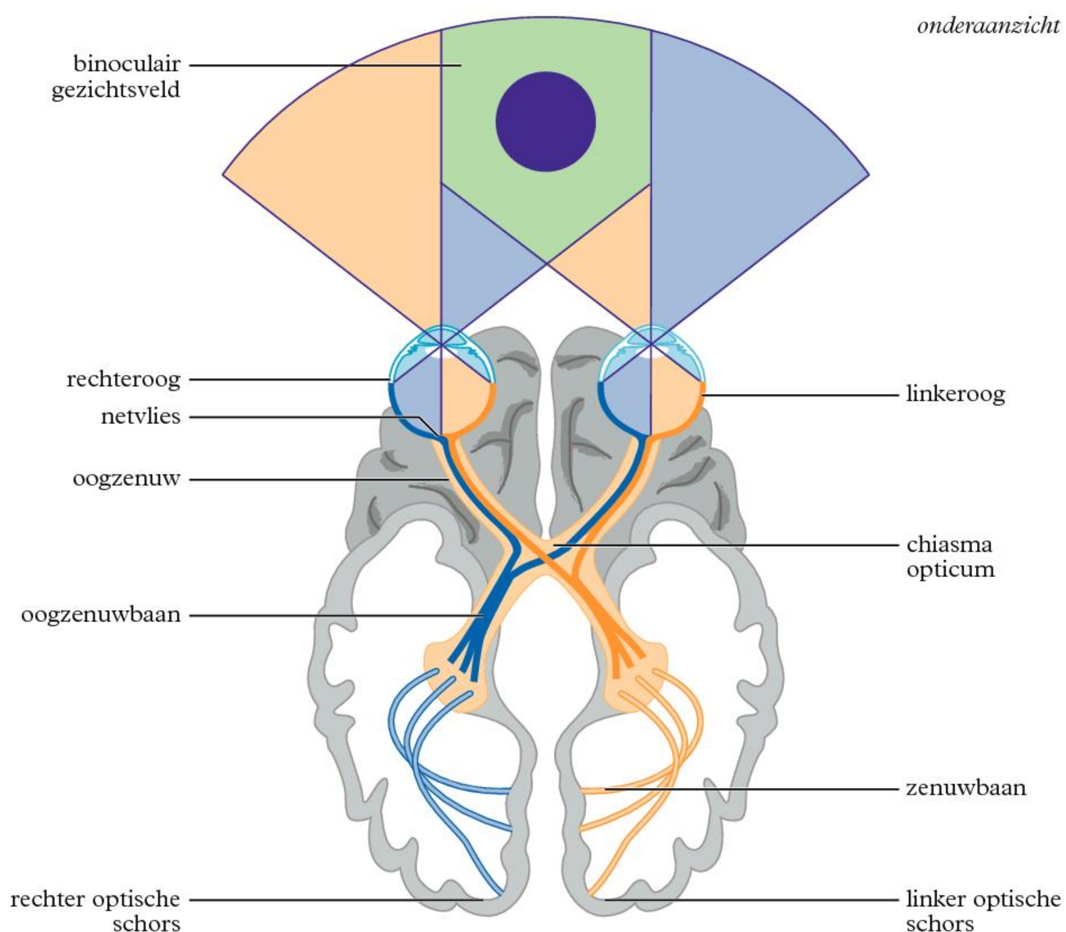
2 Horizontale doorsnede linker oog en structuur netvlies

harde oogrok
vaatvlies
netvlies
glasachtig lichaam
gele vlek
oogzenuw
blinde vlek
bloedvaten naar en van netvlies
hyaloïde kanaal
lens
achterste oogkamer (achter iris)
bindvlies
voorste oogkamer
pupil
regenboogvlies (iris)
hoornvlies
kanaal van Schlemm
lensbandjes
spieren van straalvormig lichaam
optische as
kegeltjes
kegeltjes
verbindingscel
staafjes
horizontale cel
pigmentepitheelcel
zenuwvezels
150 μm

Netvlies detail 3

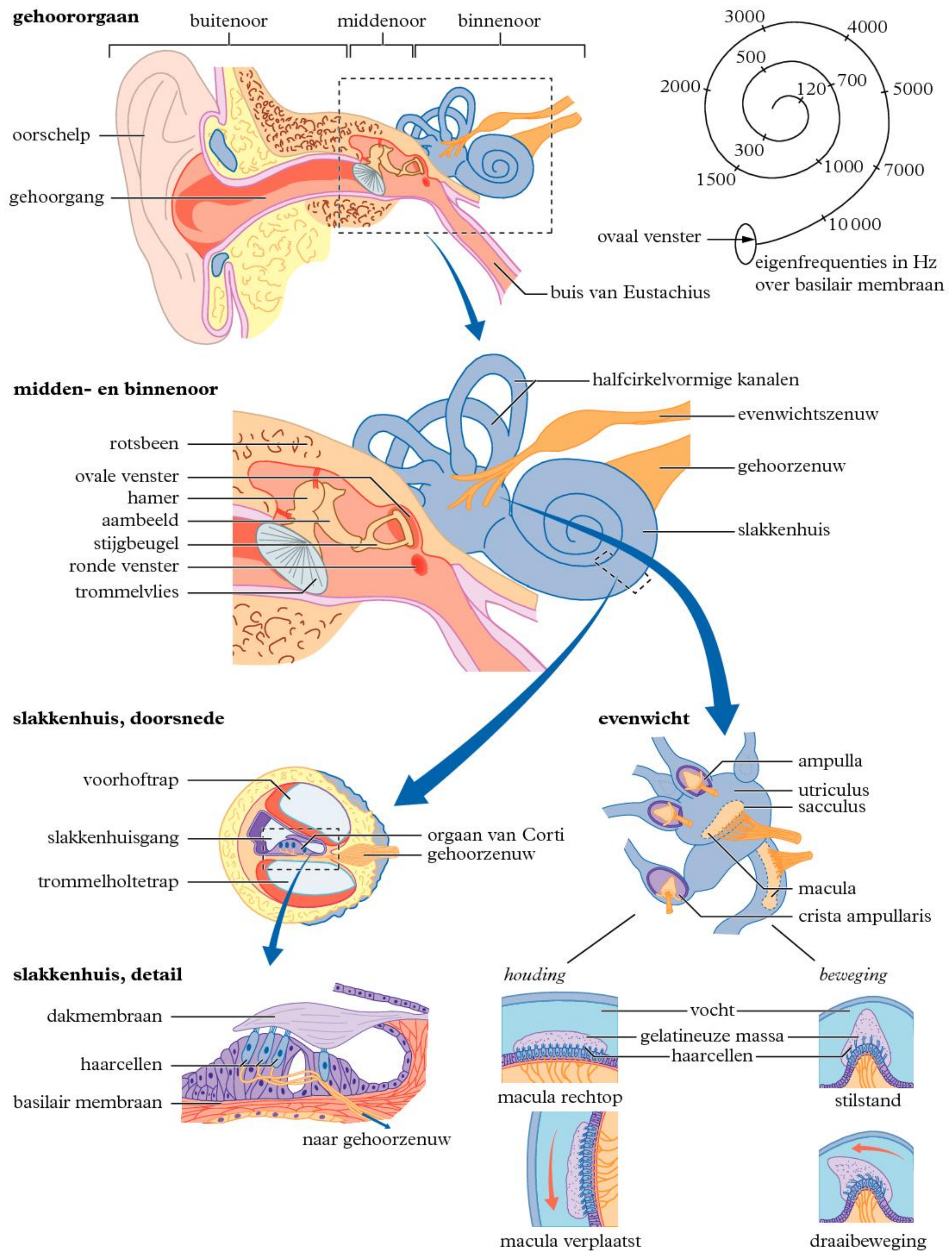


Beeldverwerking in de hersenen 4

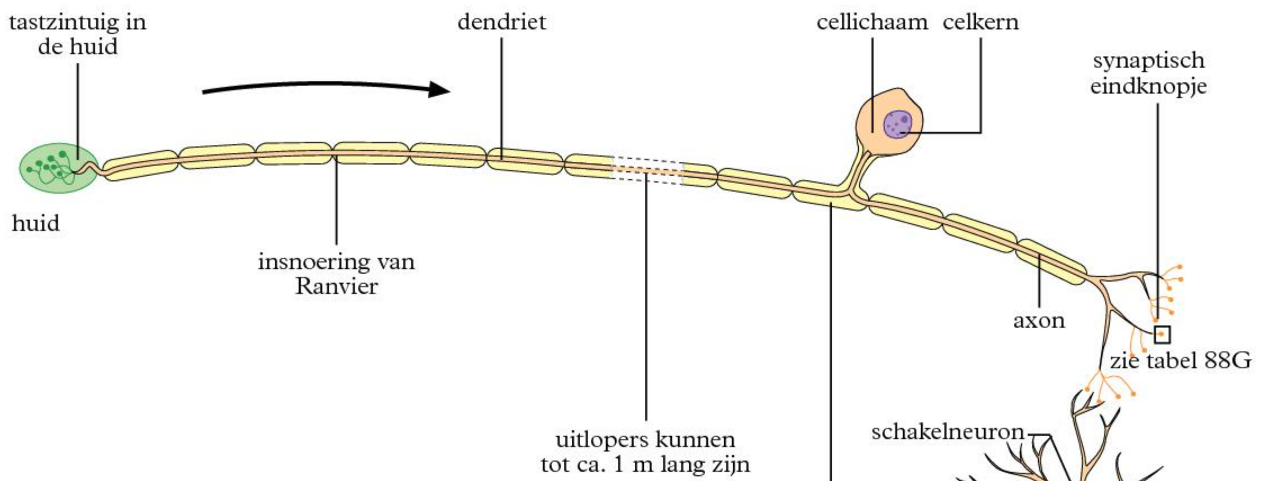


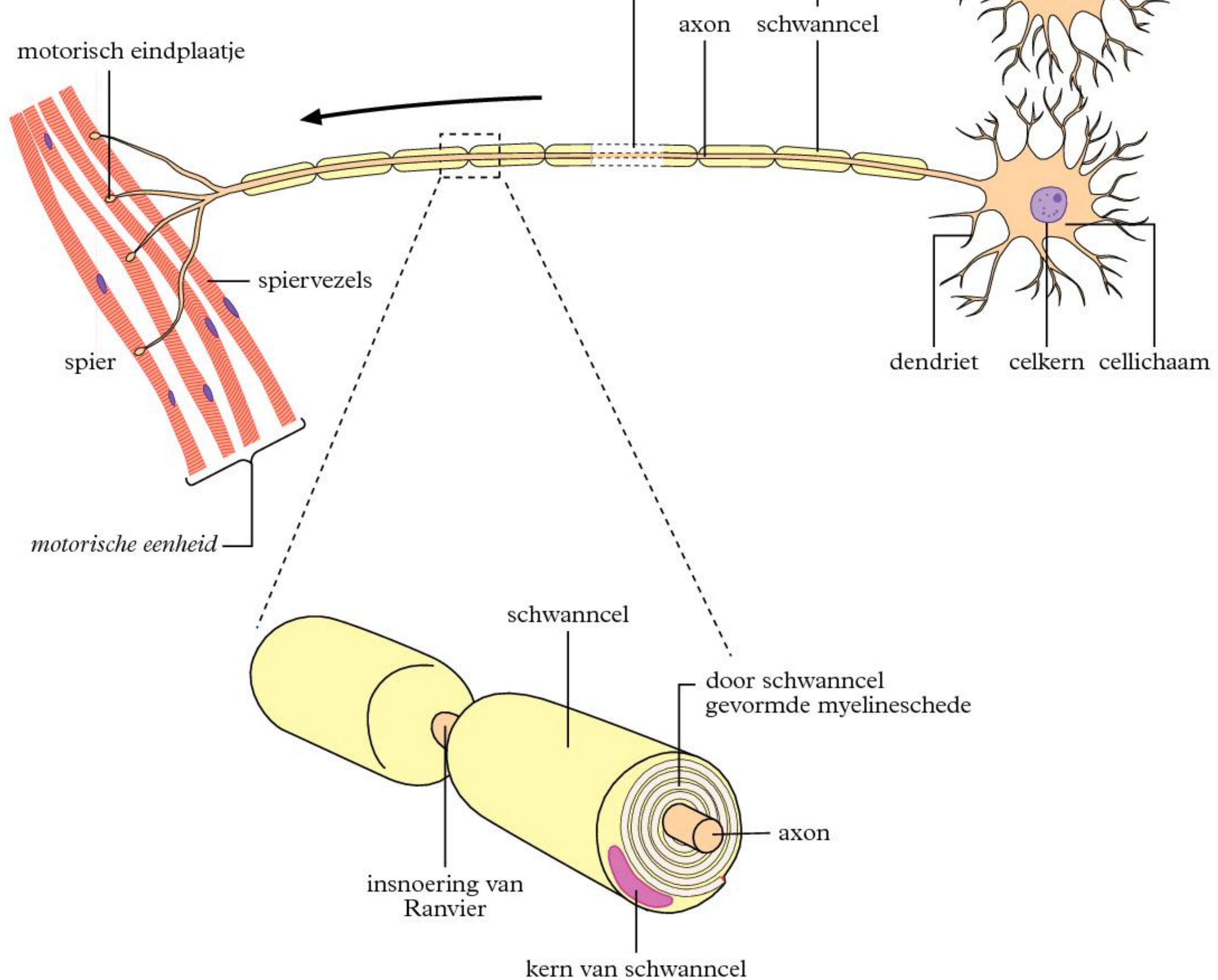
■ Brekingsindices in het oog (mens): zie tabel 18.

■ Fysische eigenschappen van het oog (mens): zie tabel 27A.



■ Akoestische schaal voor de mens: zie tabel 15D.
■ Oor (mens) en gehoorgevoeligheid: zie tabel 27C.





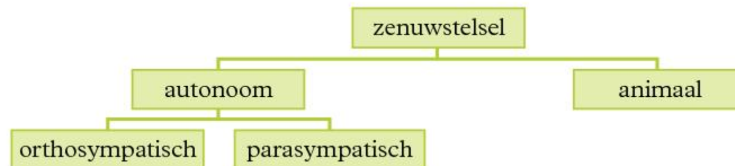
■ ⟶ Geeft richting actiepotentiaal aan.

B Indelingen zenuwstelsel

anatomische indeling



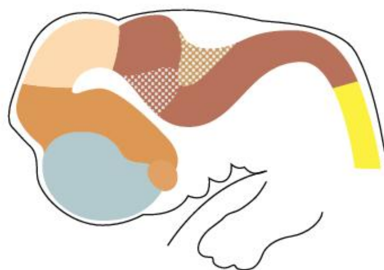
functionele indeling

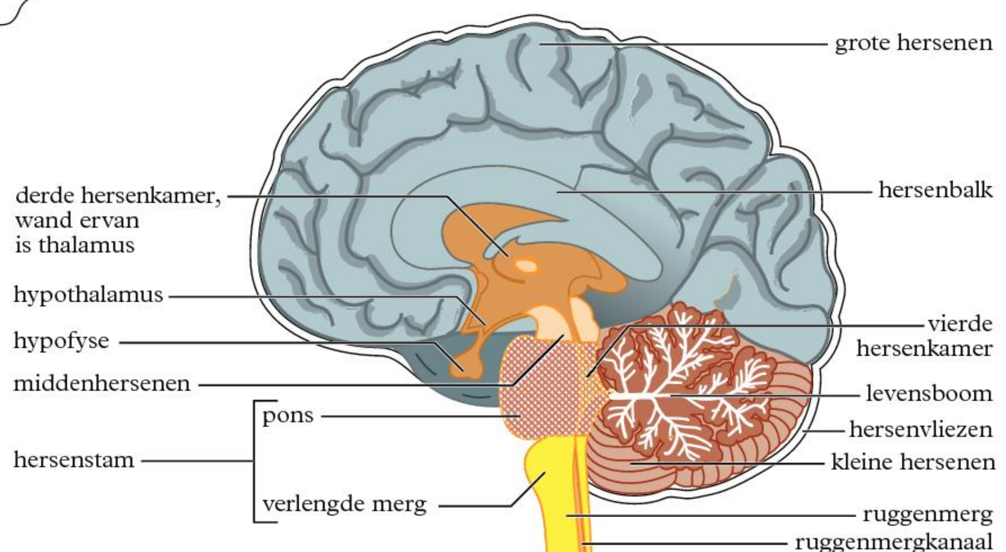


C Anatomie van de hersenen

1 Mediane doorsnede

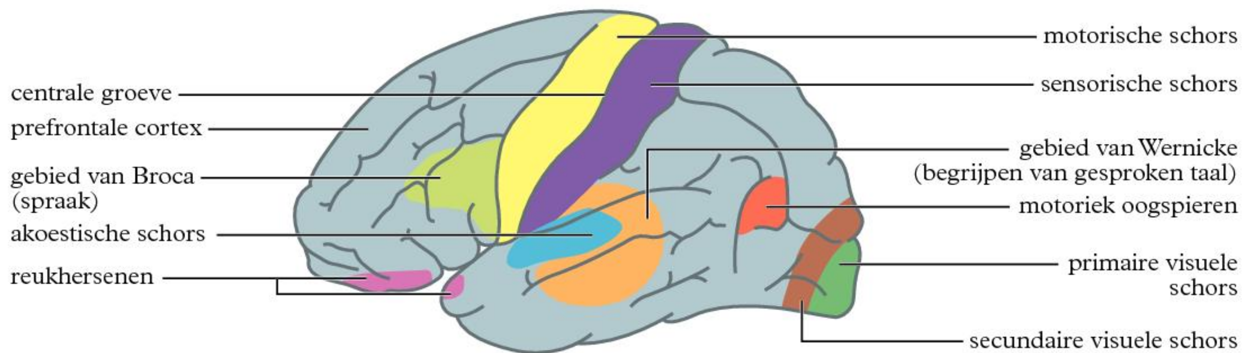
hersenen in de 5^{e} week van de embryonale ontwikkeling



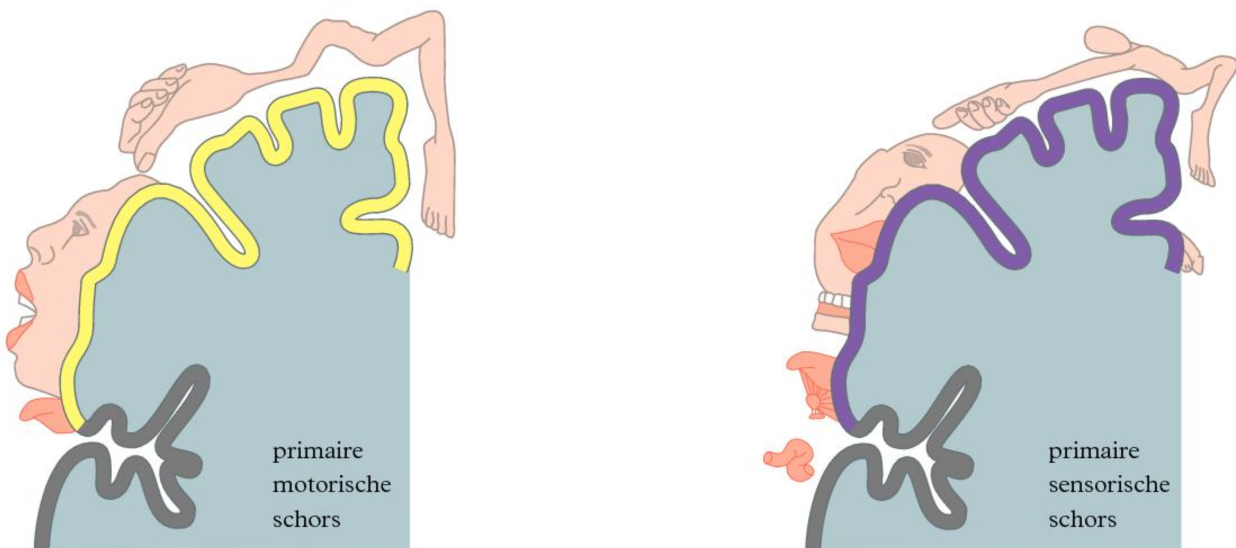


■ Dezelfde kleuren geven overeenkomstige hersendelen aan.

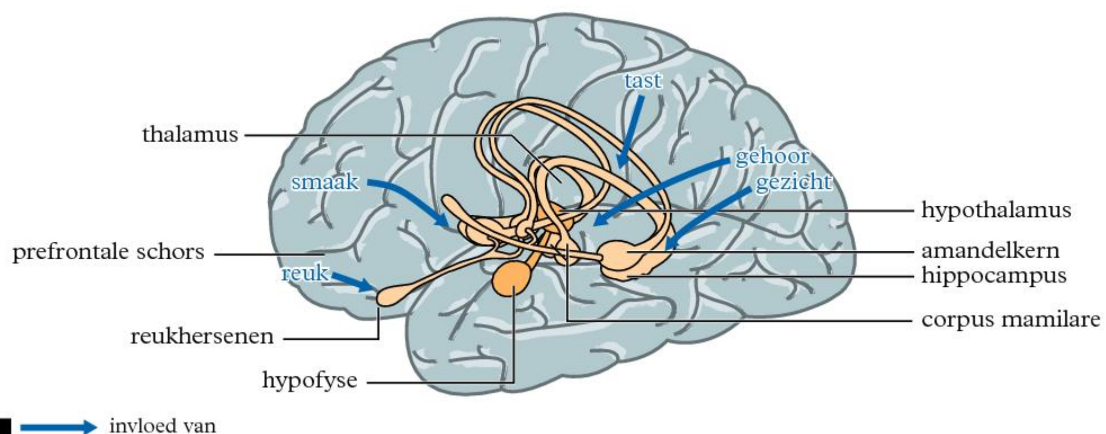
Schorsvelden 2



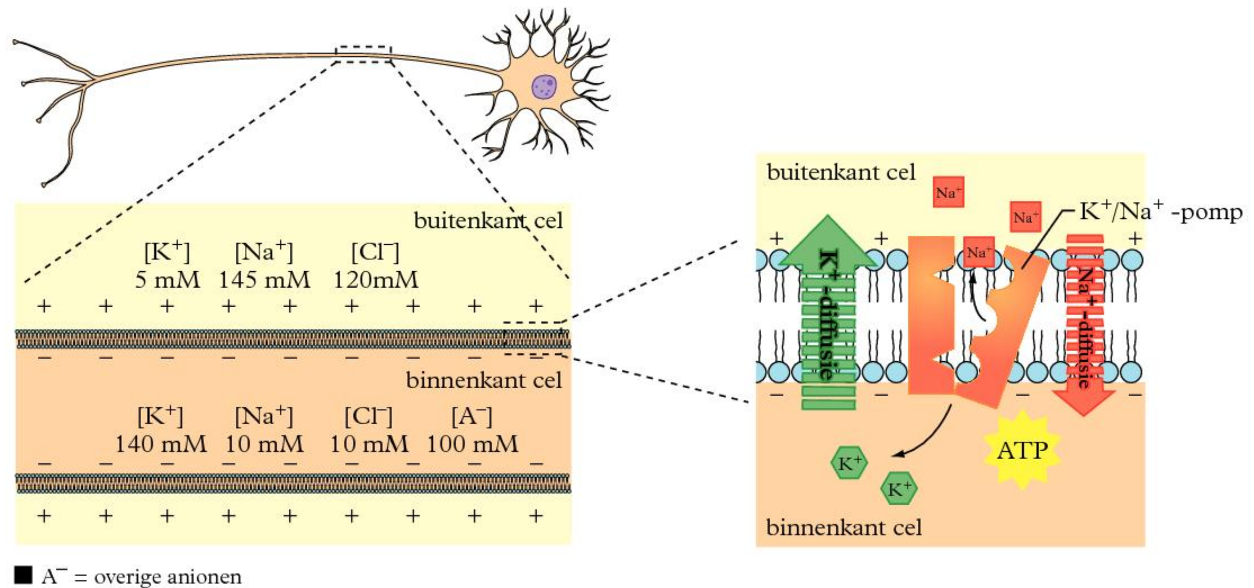
Projectie van lichaamsfuncties op een dwarsdoorsnede langs de centrale groeve 3



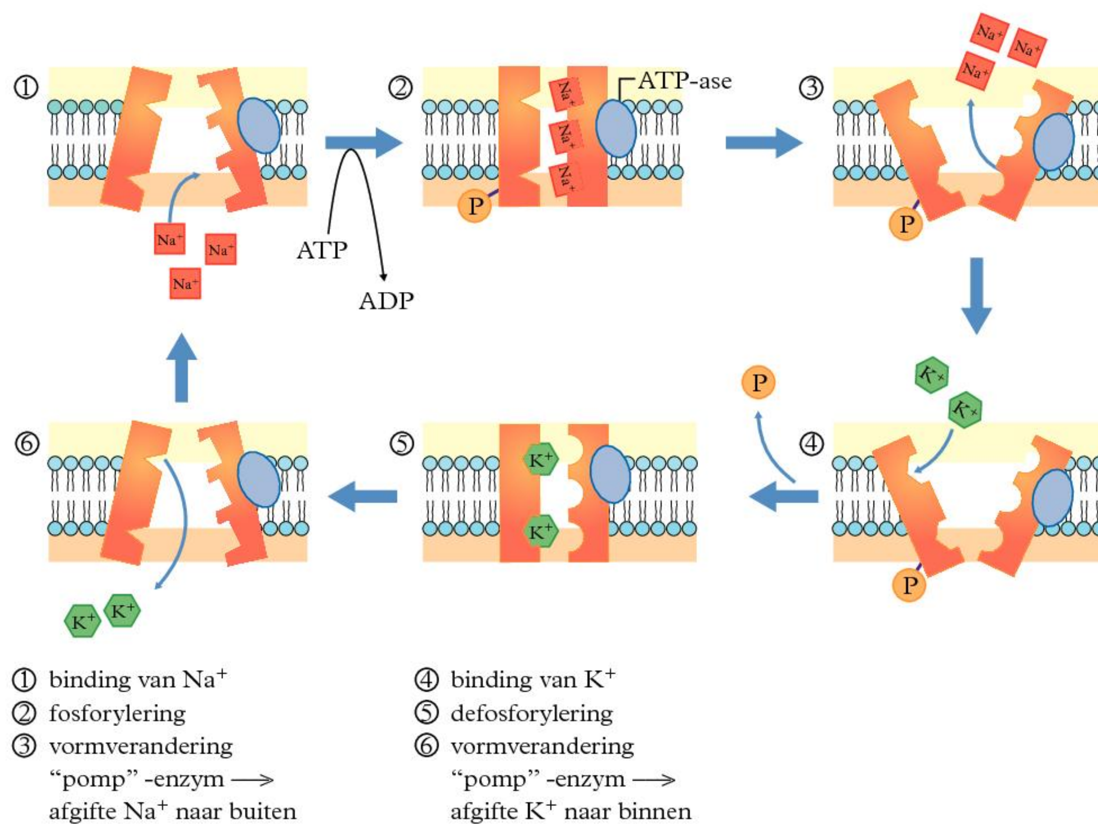
Limbisch systeem en invloed zintuiggebieden 4

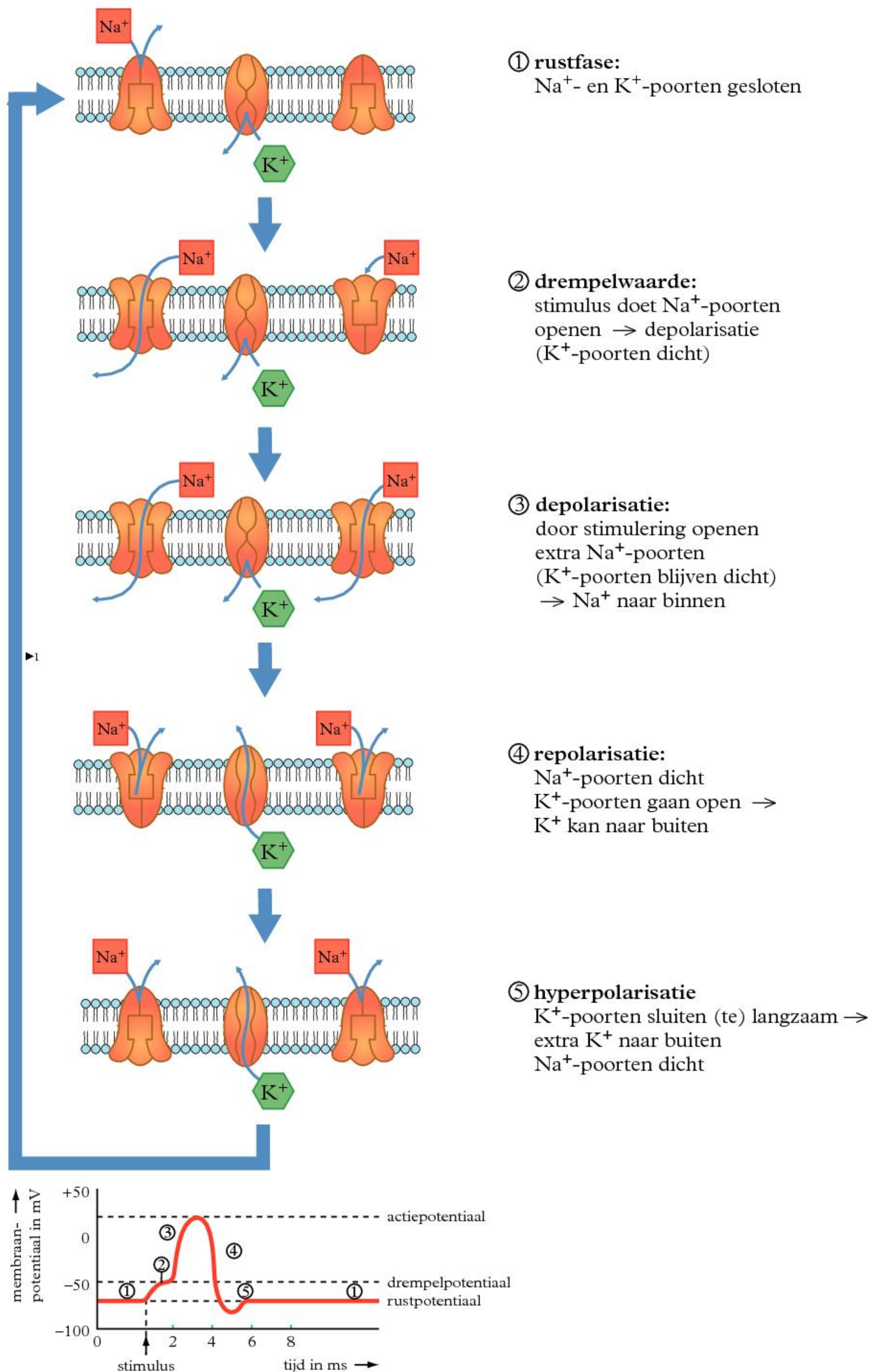


D Ionenverdeling bij rustpotentiaal



E Werking kalium-natriumpomp

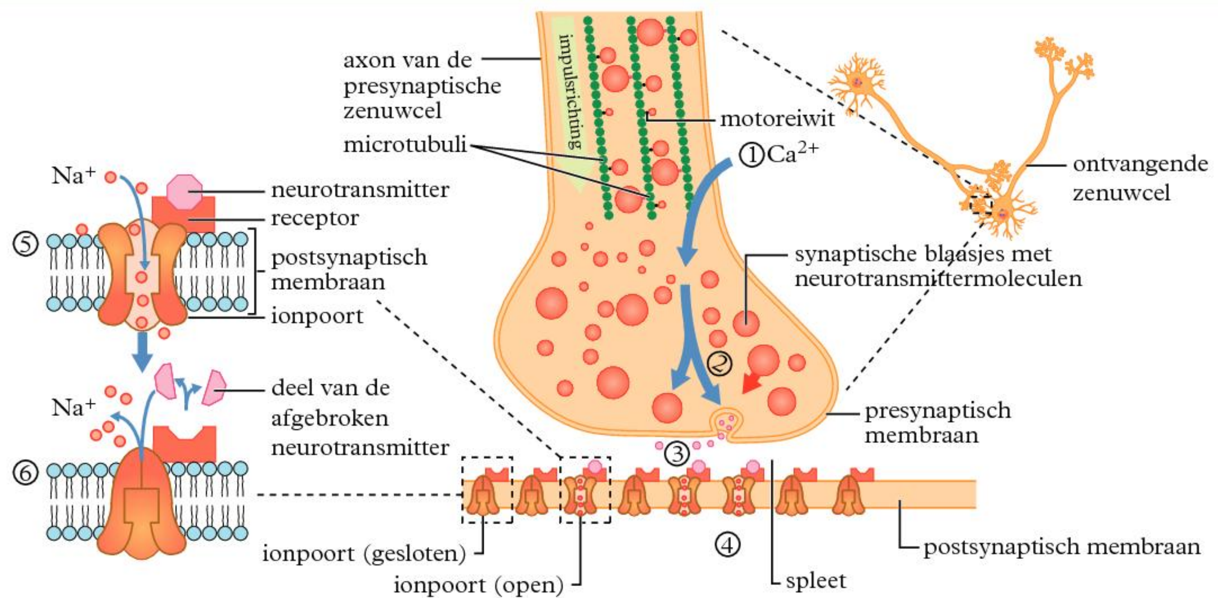




■ Omdat de actiepotentiaal hoofdzakelijk negatief is, is bij 3 en 4 de situatie negatief (binnen) getekend.

1 ▶ Bij langere rustfase worden de geringe hoeveelheden K^+- en Na^+-ionen door de K^+-Na^+-pomp teruggebracht: zie tabel 88E.

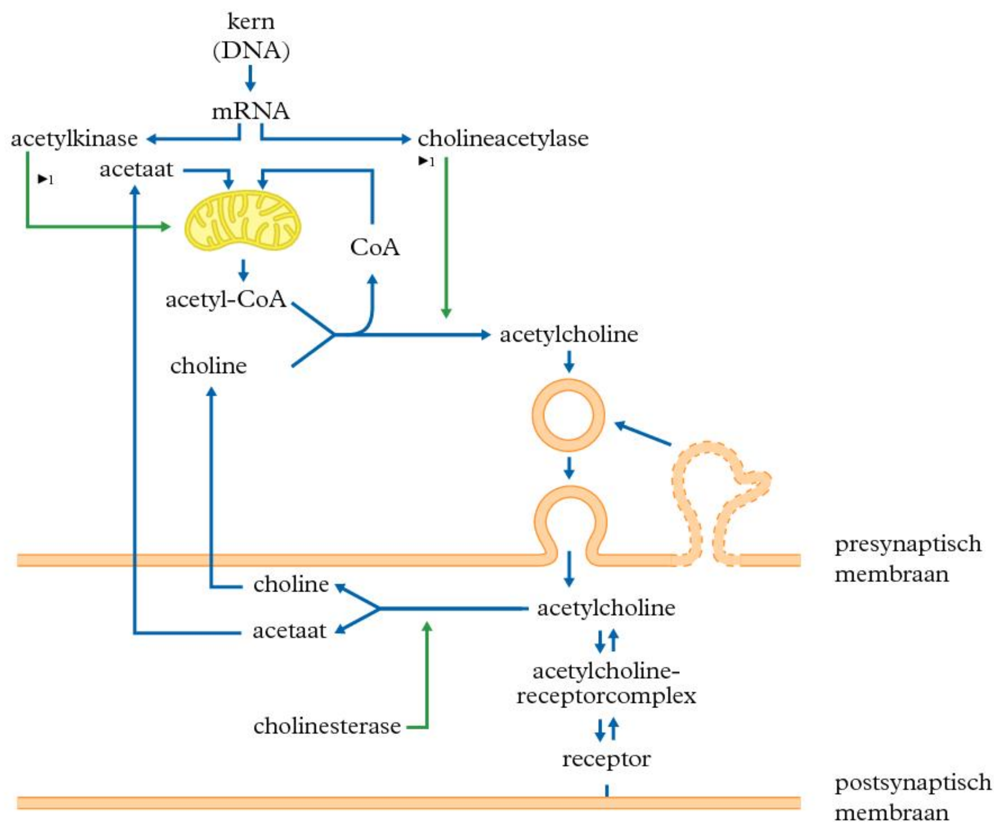
G Bouw en werking synaps



① o.i.v. impuls worden Ca^{2+}-ionen opgenomen
② o.i.v. Ca^{2+}-ionen worden synaptische blaasjes gemobiliseerd
③ versmelting van de blaasjes met presynaptisch membraan, neurotransmitter in spleet
④ reactie van neurotransmitter: reageert met receptor
⑤ ionpoort gaat open, Na^{+} gaat door postsynaptisch membraan → excitatie
⑥ afbraak (of wegdiffunderen) van neurotransmitter, ionpoort gesloten

■ Voor inhibitie geldt een vergelijkbaar proces van neurotransmitter met K^{+}-poorten → K^{+} extra naar buiten.

H Aanmaak en afbraak van acetylcholine



■ CoA = co-enzym A

1 ▶ transport via axon naar synaps

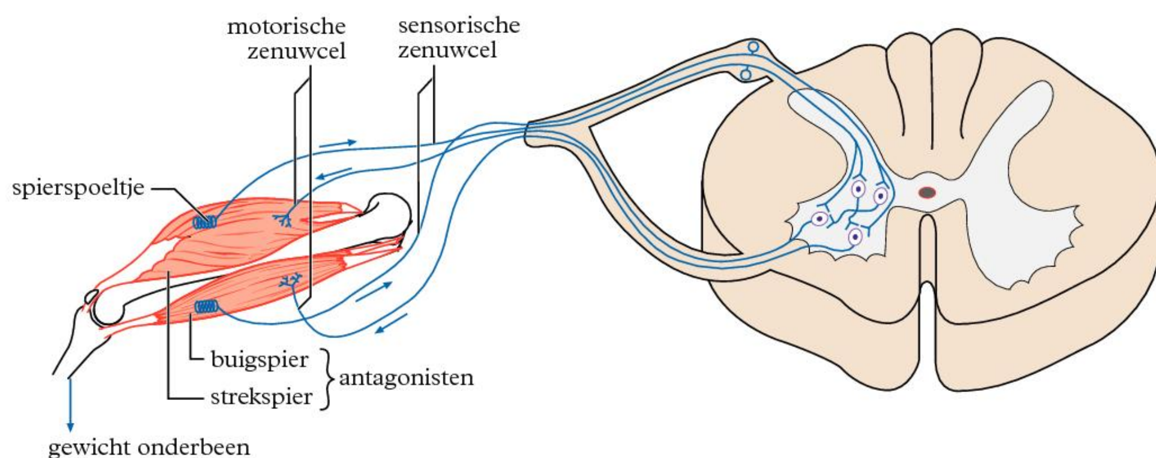
neurotransmitter met receptor(en)	*voorkomen in het zenuwstelsel*	*opmerkingen*
glycine GlyR	buikzijde van het ruggenmerg	post-synaptisch membraan meer permeabel voor Cl^--ionen – antagonisten: o.a. cafeïne en strychnine
asparaginezuur	buikzijde van het ruggenmerg	opent Na^+- en Ca^{2+}-ionkanaaltjes
glutaminezuur AMPA NMDA-glutamaat	prefrontale cortex, hippocampus en amygdala	meest algemene excitatoire neurotransmitter – opname van Ca^{2+} bevordert plasticiteit hersenen
gamma-aminoboterzuur $GABA_A$ $GABA_B$	in alle hersendelen	belangrijkste inhibitor – post-synaptisch membraan meer permeabel voor Cl^--ionen – alcohol, barbituraten en benzodiazepinen versterken het GABA-effect
acetylcholine muscalinerge (ACh_M) nicotinerge (ACh_N) nicotinerge (ACh_{Nm})	parasympatische eindsynapsen; limbisch systeem (ACh_M) neuronen met basis in voorste hersenen met projecties naar o.a. hersenschors, hippocampus en amygdala; ortho- en parasympatische ganglia (ACh_N) motorische eindplaten van skeletspieren (ACh_{Nm})	agonisten: zenuwgassen (b.v. sarin), acetylcholinesteraseremmers (veroorzaken in eerste instantie blijvende prikkeling, uiteindelijk depolariserende spierslapte) muscarine (ACh_M), nicotine (ACh_N, ACh_{Nm}) – antagonisten: atropine, scopolamine, spierverslappers – botulinetoxine remt afgifte van ACh – afsterven cholinerge neuronen – alzheimerverschijnselen
dopamine DRD_{1-5}	basis in de middenhersenen, projectie naar de basale ganglia - wijd verspreid in de hersenen	o.a. ecstasy en (met)amfetamine stimuleren de afgifte van dopamine en remmen heropname, cocaïne remt alleen heropname – afsterven dopaminerge zenuwen – parkinsonverschijnselen
serotonine $5HT_{1-7}$ (5-hydroxy-tryptaminereceptoren)	centrale deel hersenstam (2%) bloed (8%) neuronen in het darmkanaal (90%)	mescaline werkt in op de receptoren – LSD bindt aan receptoren, met cascade van reacties – hallucinaties
adrenaline (epinefrine) noradrenaline (norepinefrine) α_1, α_2 en $\beta_{(1, 2 \text{ en } 3)}$	orthosympaticus (α_1, α_2) bovenste deel hersenstam, projecties naar alle hersengebieden ($\beta_{(1, 2 \text{ en } 3)}$)	contractie gladde spieren (α_1) contractie gladde spieren, inhibitie afgifte neurotransmitter (α_2), contractie hartspier, relaxatie gladde spieren, glycogenolyse ($\beta_{(1, 2 \text{ en } 3)}$) antagonisten: diverse α- en β-blokkers – cocaïne blokkeert de adrenalinepoorten – o.a. ecstacy en (met)amfetamine stimuleren de afgifte van noradrenaline (ook van dopamine en serotonine) en remmen heropname (laatste geldt ook voor cocaïne)
opioïde peptiden (endorfinen, enkefalinen, dynorfinen) opioïde receptoren	sensorische, limbische en hypothalame gebieden in de hersenen, grote aantallen in de amygdala en het periductale grijze gebied	remmen de Ca^{2+}-poorten en verminderen de gevoeligheid voor neurotransmitters – opiaten kunnen de receptoren bezetten – co-transmitters die de afgifte van o.a. glutamaat van dezelfde synaps moduleren – doorgaans inhibitoir
cannabioïden anandamide 2-arachidonoylglycerol CB1, CB2	voedingscentrum hypothalamus, bewegingscoördinatiegebieden, verspreid door grote en kleine hersenen	op presynaptisch membraan het remmen van afgifte glutamaat en ACh – versterken afgifte dopamine – reguleren stemmingen – cannabis bezet de receptoren (o.a. THC)
histamine H_{1-4}	achterste deel hypothalamus en delen limbisch sysyeem	receptoren in grote aantallen aan mestcellen – inductie allergische reacties – regeling slaapprocessen m.n. waakzaamheid

J Schema van het ruggenmerg

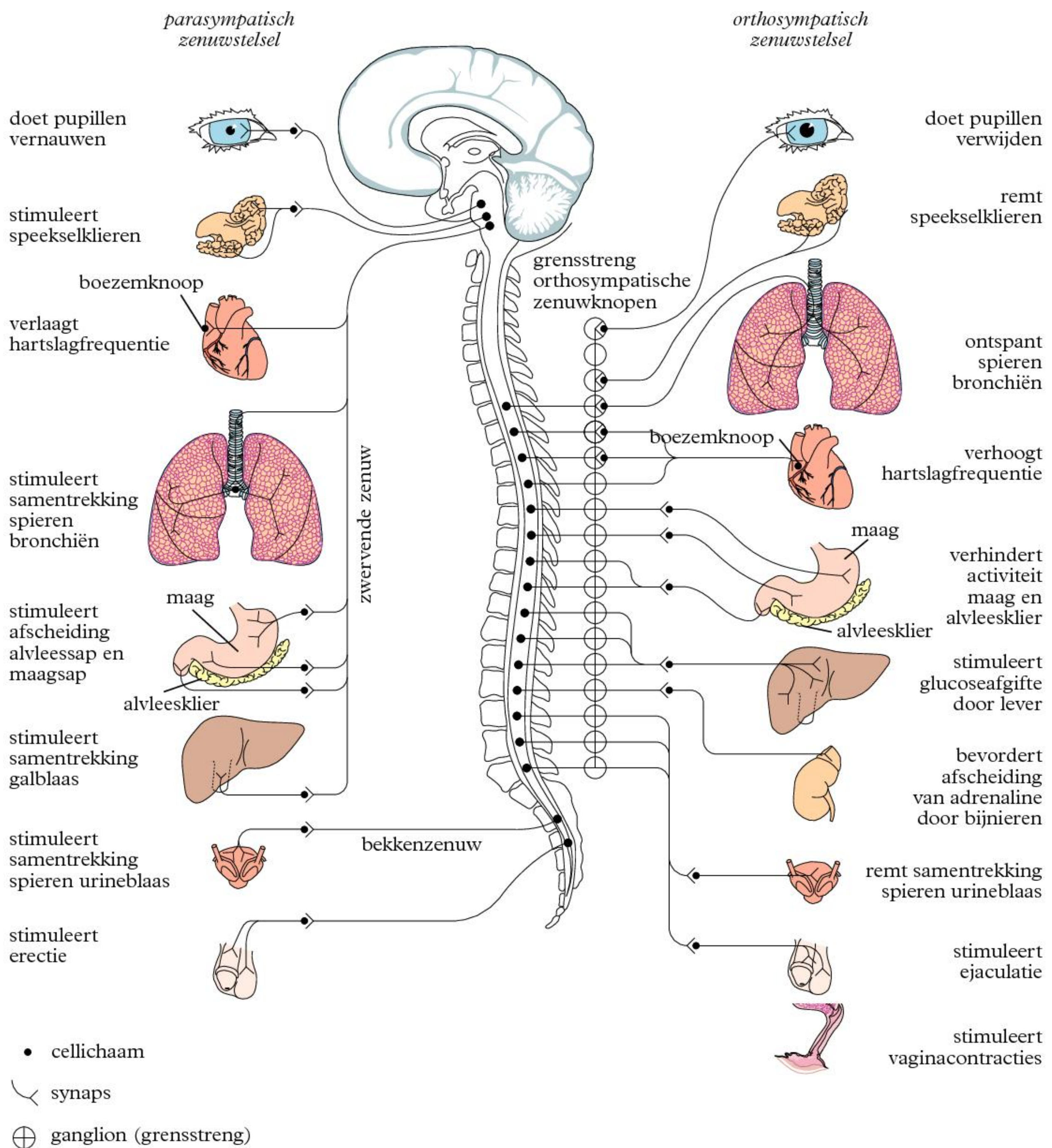
cellichaam van sensorische zenuwcel
axon van schakelcel
ruggenmerg-kanaal
naar de hersenen
van de hersenen
sensorische zenuwcel
postganglionaire orthosympatische zenuwcel
witte stof
grijze stof
spinaal ganglion
orthosympatische zenuwcel
preganglionaire orthosympatische zenuwcel
synaps
grensstreng
grensstrengganglion
zenuwbaan rugzijde
perifere zenuw
zenuwbaan buikzijde
ruggenmerg
orgaan

■ ⟶ = richting van actiepotentialen

K Kniepeesreflex



invloeden en innervatie van ortho- en parasympatisch zenuwstelsel op organen



herkomst	*naam van het hormoon*	*voornaamste werking*
• *hypothalamus*	neurohormonen ▸1	regeling secretie hypofysehormonen
	aanzettende (releasing) hormonen GRH, CRH, TRH, GnRH, LTH-RH	stimulering afgifte van resp. GH, ACTH, TSH, FSH & LH, LTH
	remmende (inhibiting) hormonen GIH en LTH-IH	remming afgifte van resp. GH en LTH
• *hypofyse*		
achterkwab	de neurohormonen:	
	oxytocine ▸1	contractie baarmoederwand – melksecretie
	antidiuretisch hormoon ▸1 (ADH) (vasopressine)	terugresorptie water in nieren – verhoging bloeddruk bij hoge concentratie
voorkwab	groeihormoon ▸1 (GH)	stimulatie groei en stofwisseling – blokkeert glucoseopname – stimuleert gluconeogenese en lipolyse
	adrenocorticotroop hormoon (ACTH)	aanzetten bijnierschors
	thyreotroop hormoon ▸1 (TSH)	aanzetten schildklier
	follikelstimulerend hormoon ▸1 (FSH)	bij ♀♀: bevordert follikelgroei in ovaria – aanzetten secretie van oestradiol (en oestron) bij ♂♂: bevordert spermatogenese
	luteïniserend hormoon ▸1 (LH)	bij ♀♀: aanzetten tot ovulatie, vorming en handhaving corpus luteum (geel lichaam) bij ♂♂: aanzetten secretie van testosteron
	prolactine (luteotroop hormoon) ▸1 (LTH)	melksecretie - remming secretie LH en FSH bij overmaat
	lipotroop hormoon ▸1 (LPH)	'moedereiwit' voor opioïden (eigen verdoving) – hormoonrol nog onbekend
• *schildklier*	tetrajoodthyronine (thyroxine) ▸3 (T4)	aanzetten stofwisseling – groei en differentiatie van onder andere centrale zenuwstelsel – remming secretie TSH
	tri joodthyronine ▸3 (T3)	als thyroxine
	calcitonine ▸1 (CT)	daling Ca^{2+}-gehalte in bloed
• *bijschildklier*	parathormoon ▸1 (PTH)	stijging Ca^{2+}-gehalte in bloed – resorptie van bot
• *eilandjes van Langerhans* (in pancreas)	insuline ▸1	bevordering glucosestofwisseling – omzetting glucose in glycogeen – remming gluconeogenese – bevordering opbouw vetten en eiwitten – verhoging permeabiliteit celmembranen
	glucagon ▸1	omzetting glycogeen in glucose in lever – stimuleert gluconeogenese en lipolyse
• *gonaden*		
ovaria	oestrogene geslachtshormonen, voornamelijk oestradiol ▸2	ontwikkeling secundaire geslachtskenmerken en geslachtsorganen, onder andere opbouw baarmoederslijmvlies – regeling secretie van gonadotrope hormonen – beïnvloeding bloed-samenstelling
	progesteron ▸2	ontwikkeling slijmvlies – remming secretie LH en FSH – verhoging lichaamstemperatuur
testes	androgene geslachtshormonen, voornamelijk testosteron ▸2	ontwikkeling secundaire geslachtskenmerken en geslachtsorganen, o.a. prostaat – remming secretie LH en FSH

vervolg ▸

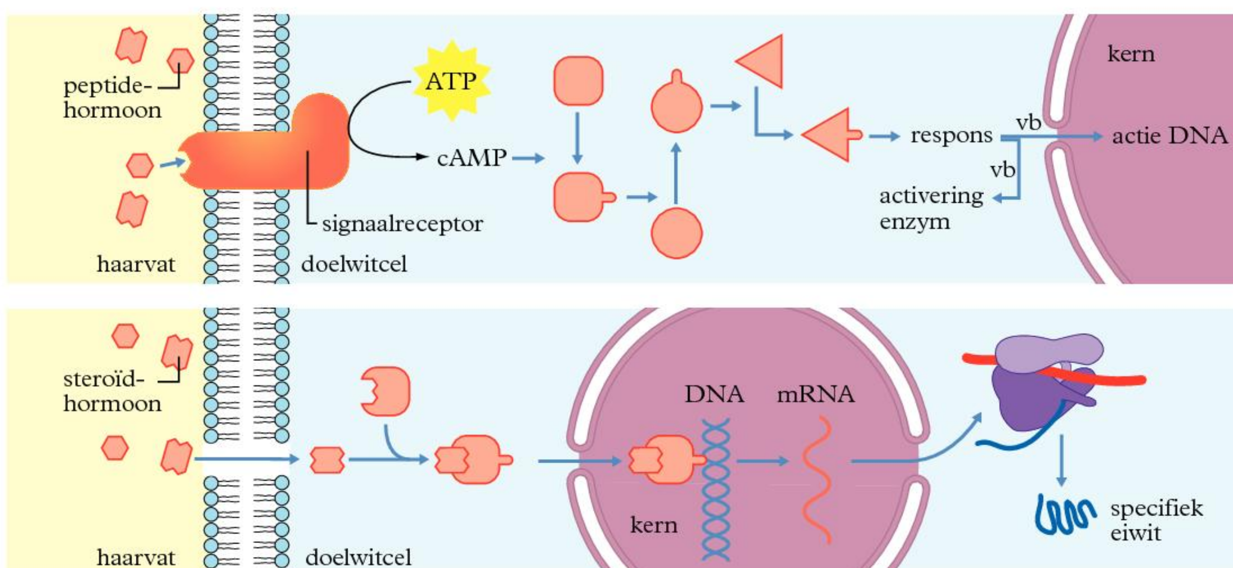
Hormonen van de mens — A

herkomst	*naam van het hormoon*	*voornaamste werking*
• *placenta*	humaan choriongonadotropine ►1 (HCG)	werking als van luteïniserend hormoon: voornamelijk handhaving werking corpus luteum
	diverse steroïdhormonen, onder andere progesteron ►2	stimulatie slijmvlies baarmoederwand – remming secretie LH en FSH
• *nieren*	erytropoëtine ►1 (EPO)	stimulatie productie rode bloedcellen
	renine ►1	stimulatie productie aldosteron via angiotensine I & II
• *maag*	gastrine ►1	stimulatie maagsapproductie – versterking maagmotoriek
• *twaalfvingerige darm*	secretine ►1	stimulatie afgifte HCO_3^- door alvleesklier – remming maagmotoriek
	cholecystokinine ►1	stimulatie afgifte enzymen door alvleesklier – regeling motoriek galblaas – remming maagmotoriek
• *bijnierschors*	hydrocortison (cortisol) ►2	omzetting eiwitten in aminozuren – aanzetten gluconeogenese – remming glucosegebruik – verandering vetverdeling – remming ontstekingen – onderdrukking afweersysteem – remming secretie ACTH
	aldosteron ►2	retentie water en zouten – uitscheiding K^+
	diverse, voornamelijk mannelijke, geslachtshormonen ►2	zie testes
• *bijniermerg* (neurohormonen)	adrenaline/noradrenaline ►4	effecten als van orthosympatisch zenuwstelsel: regeling bloedstroom – verhoging hartslagfrequentie – verhoging bloeddruk – verwijding bronchi – afgifte glucose aan bloed door lever – stimuleert gluconeogenese, glycogenolyse en lipolyse

■ Structuurformules van de hormonen: zie tabel 67K.

1 ► peptidehormonen (eiwitten)
2 ► steroïdhormonen
3 ► thyroninen } derivaten van tyrosine
4 ► catecholaminen } derivaten van tyrosine

Werkingsmechanismen van hormonen in cellen — B



neurosecretoire cellen (van de hypothalamus)

releasing hormonen

hormonen van de neurohypofyse

portale bloedvaten

hormonen van de adenohypofyse

hypothalamus

hypofyse

neurohypofyse

adenohypofyse

antidiuretisch hormoon (ADH)

nier

(waterresorptie, osmolariteit)

oxytocine

uterusspier

(weeënactiviteit)

groeihormoon

(lengtegroei, eiwitsynthese)

thyreotroop hormoon (TSH)

schildklier

trijoodthyronine (T_3)
tetrajoodthyronine (T_4)

(grondstofwisseling)

adrenocorticotroop hormoon (ACTH)

bijnierschors

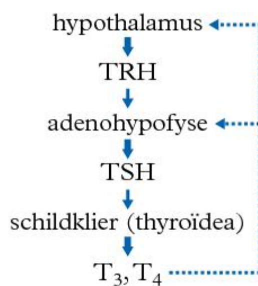
a glucocorticoïden (cortisol) (intermediaire stofwisseling)
b mineralocorticoïden (aldosteron) (Na^+ en K^+-uitscheiding)
c geslachtshormonen

gonadotrope hormonen

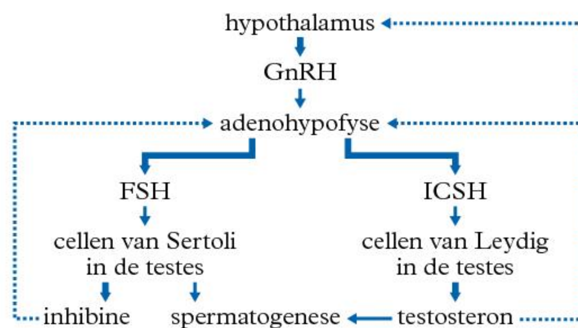
a follikelstimulerend hormoon (FSH)
b1 luteïniserend hormoon (LH)♀
b2 interstitiële-cellenstimulerend hormoon (ICSH = LH)♂
c prolactine (LTH) (weeënactiviteit)

voorbeelden van terugkoppeling

schildklier

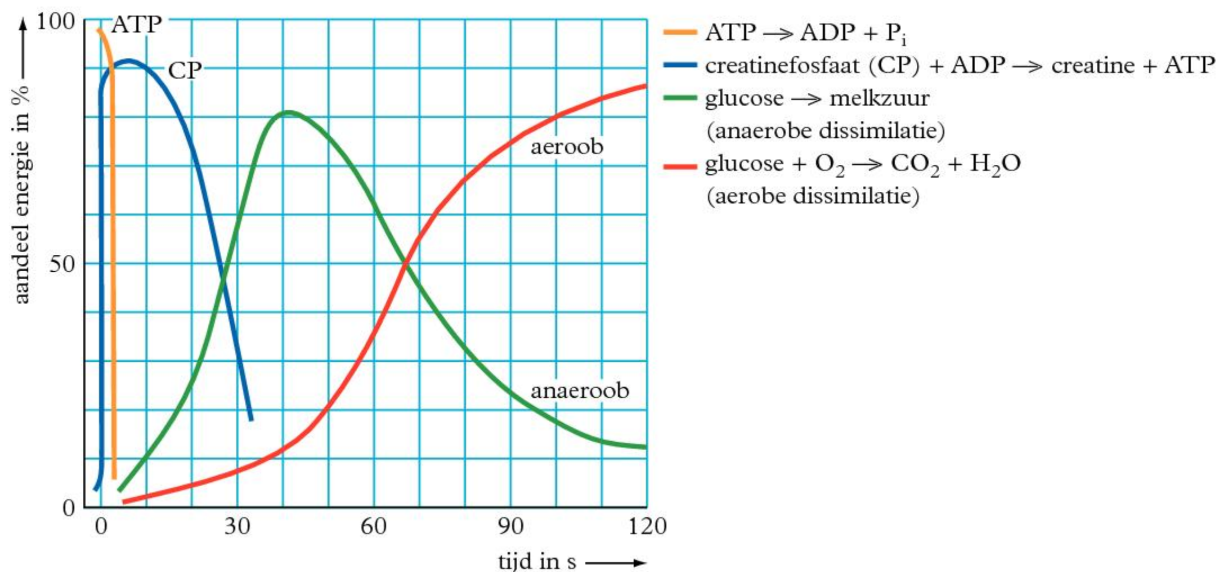


testes



maakt — stimuleert — remt

Energiebronnen van een spier bij lichte training A

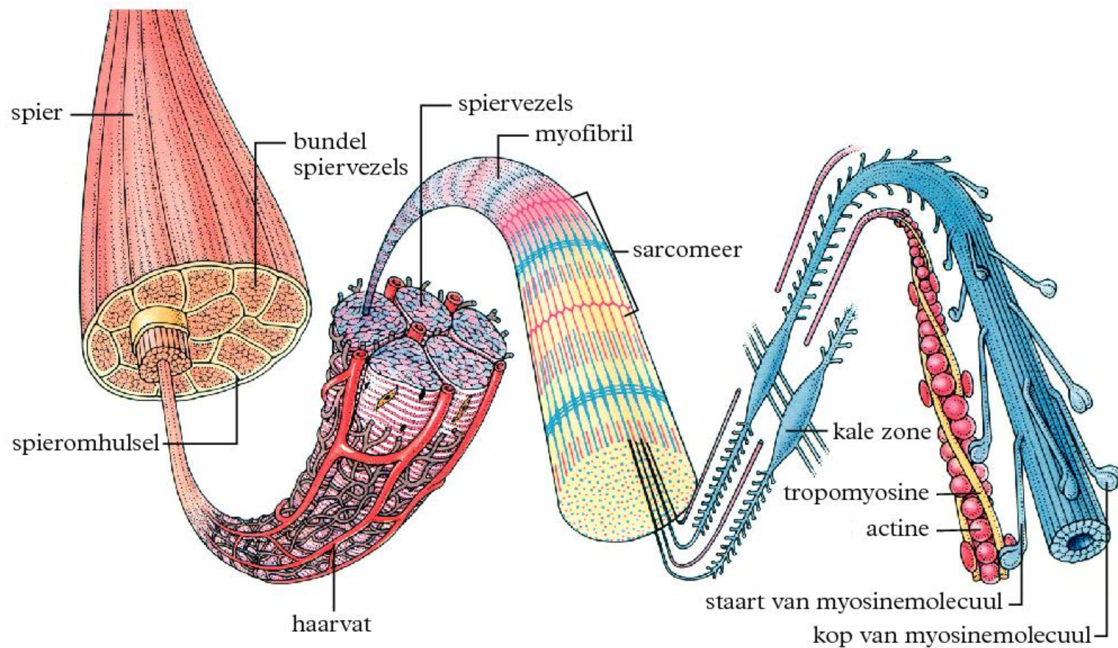


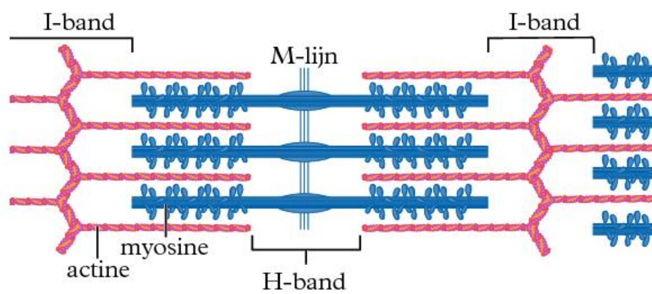
- Dissimilatie: zie tabel 68.
- Op langere termijn wordt glycogeen omgezet in glucose.
- De hoeveelheid vetverbranding in dwarsgestreepte spieren is afhankelijk van getraindheid en mate van inspanning.

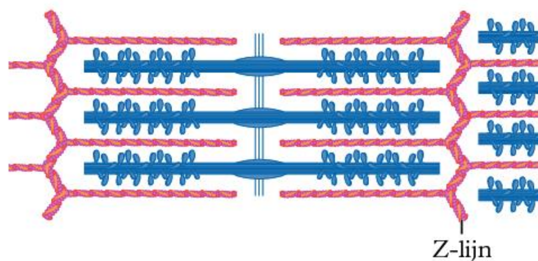
Langzame en snelle spiervezels B

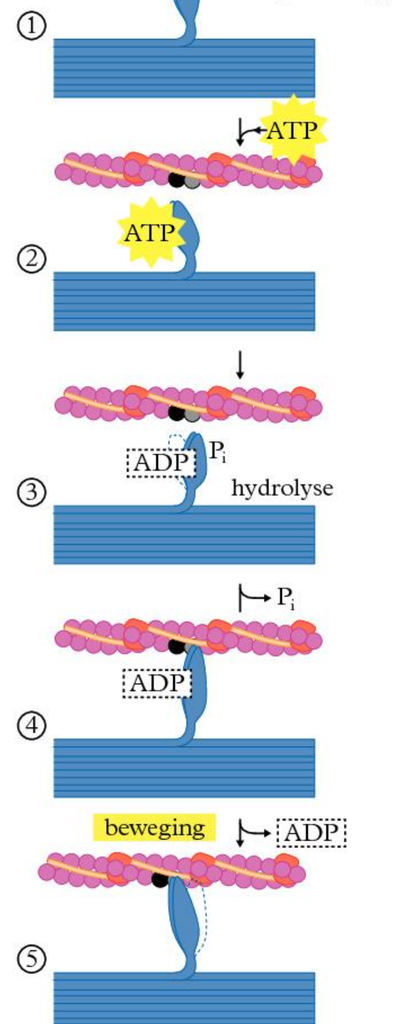
	langzame spiervezels (type I)	*snelle spiervezels (type II)*
doorbloeding	sterk } 'rood'	gering } 'wit'
myoglobinegehalte	hoog	laag
energievrijmaking, hoofdzakelijk	vetzuren (aeroob), veel enzymen voor de citroenzuurcyclus	glucose (anaeroob/aeroob), veel enzymen voor melkzuurvorming
aantal mitochondriën	veel	weinig
myosine-ATP-aseactiviteit	laag	hoog
Ca^{2+}-resorberende capaciteit	laag	hoog
hoeveelheid myofibrillen per cel	matige dichtheid	hoge dichtheid
motoreenheden	klein	groot
prikkeldrempel	relatief laag	relatief hoog
innervatie	langzamer geleidende zenuwvezels	snel geleidende zenuwvezels
vermoeibaarheid	nauwelijks	snel
functie voor het lichaam	houding	bewegingen
voorraad glycogeen	veel	weinig

C Motorische eenheden van een dwarsgestreepte spier





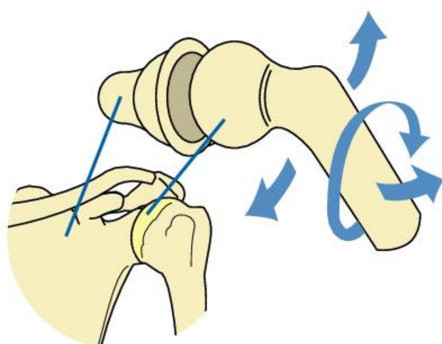




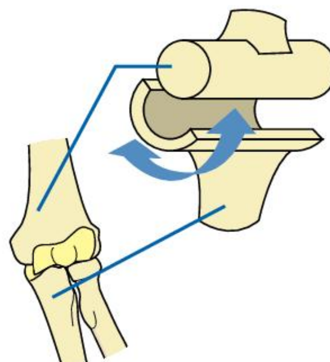
voorhoofdsbeen
slaapbeen
wiggebeen
jukbeen
bovenkaak
onderkaak
sleutelbeen
❶
borstbeen
rib
opperarmbeen
❷
❸
wervelkolom
ellepijp
spaakbeen
darmbeen
schaambeen
handwortelbeentjes
middenhandsbeentjes
vingerkootjes
dijbeen
knieschijf
scheenbeen
kuitbeen
scheepvormig beentje
voetwortelbeentjes
middenvoetsbeentjes
teenkootjes
hielbeen
sprongbeen
wigvormige beentjes

wandbeenderen
achterhoofdsbeen
halswervels (7)
schoudertop
schouderblad
borstwervels (12)
lendenwervels (5)
heiligbeen
staartbeen
zitbeen
gewrichtsspleet
buitenenkel
binnenenkel
teerlingbeentje
hielbeen

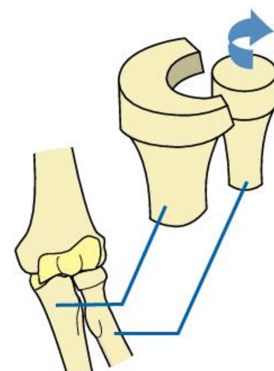
❶ kogelgewricht



❷ scharniergewricht



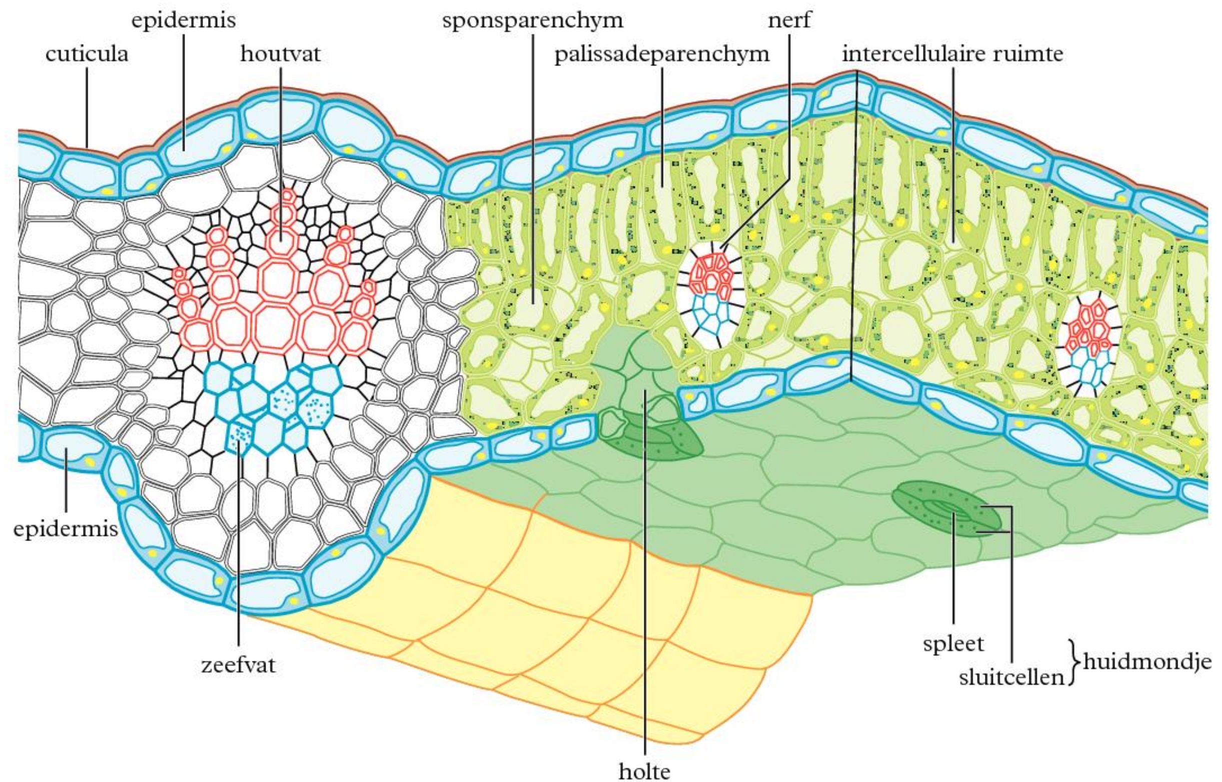
❸ rolgewricht



De anatomie van de plant en haar voeding

A Blad

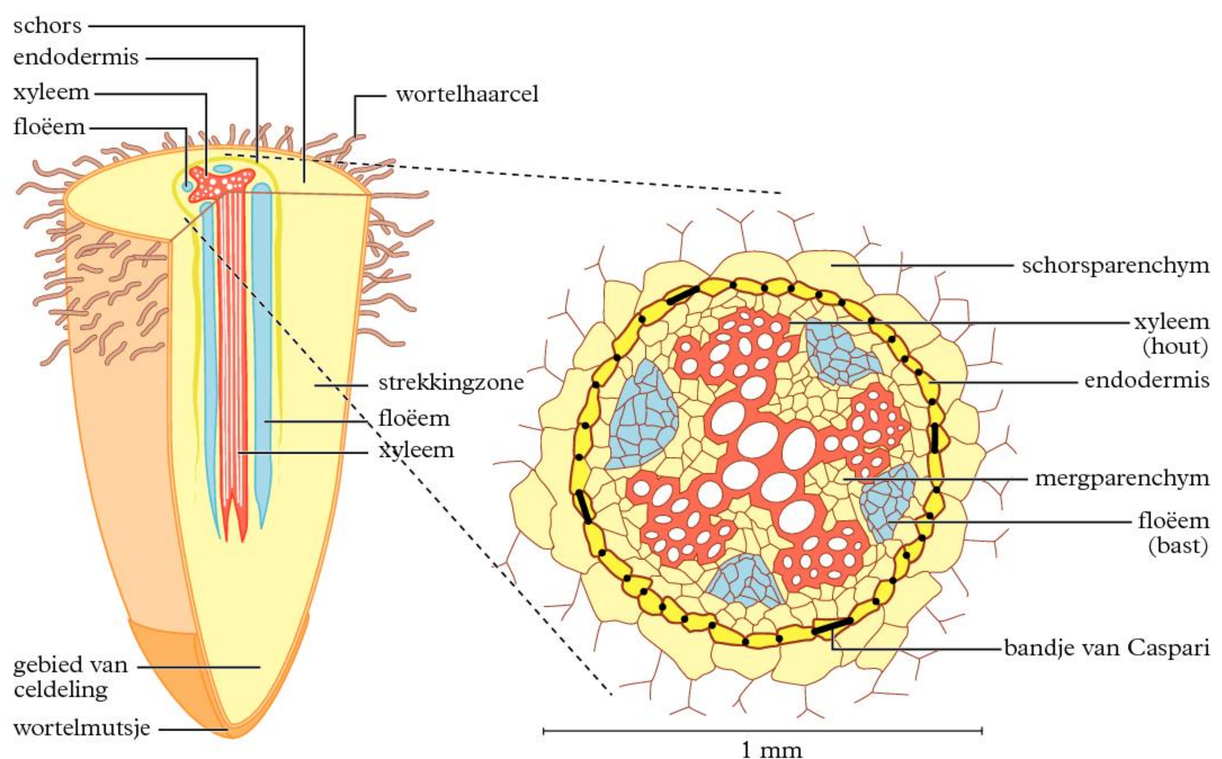
stereogram bladdoorsnede



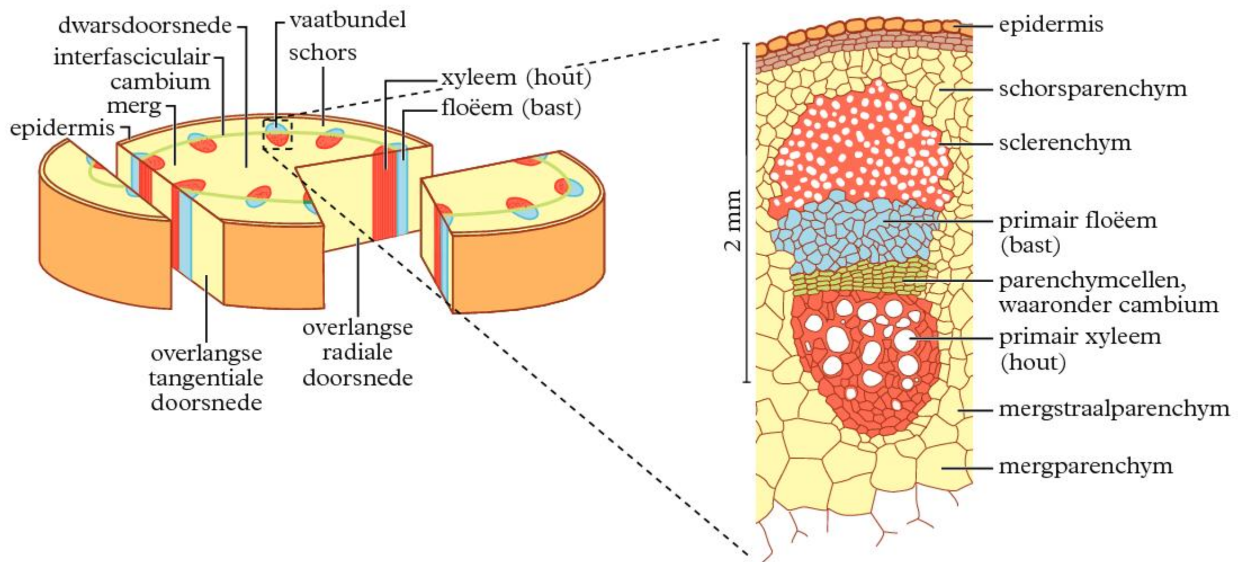
B Wortel

ruimtelijk schema van een wortel (in de lengte ingekort)

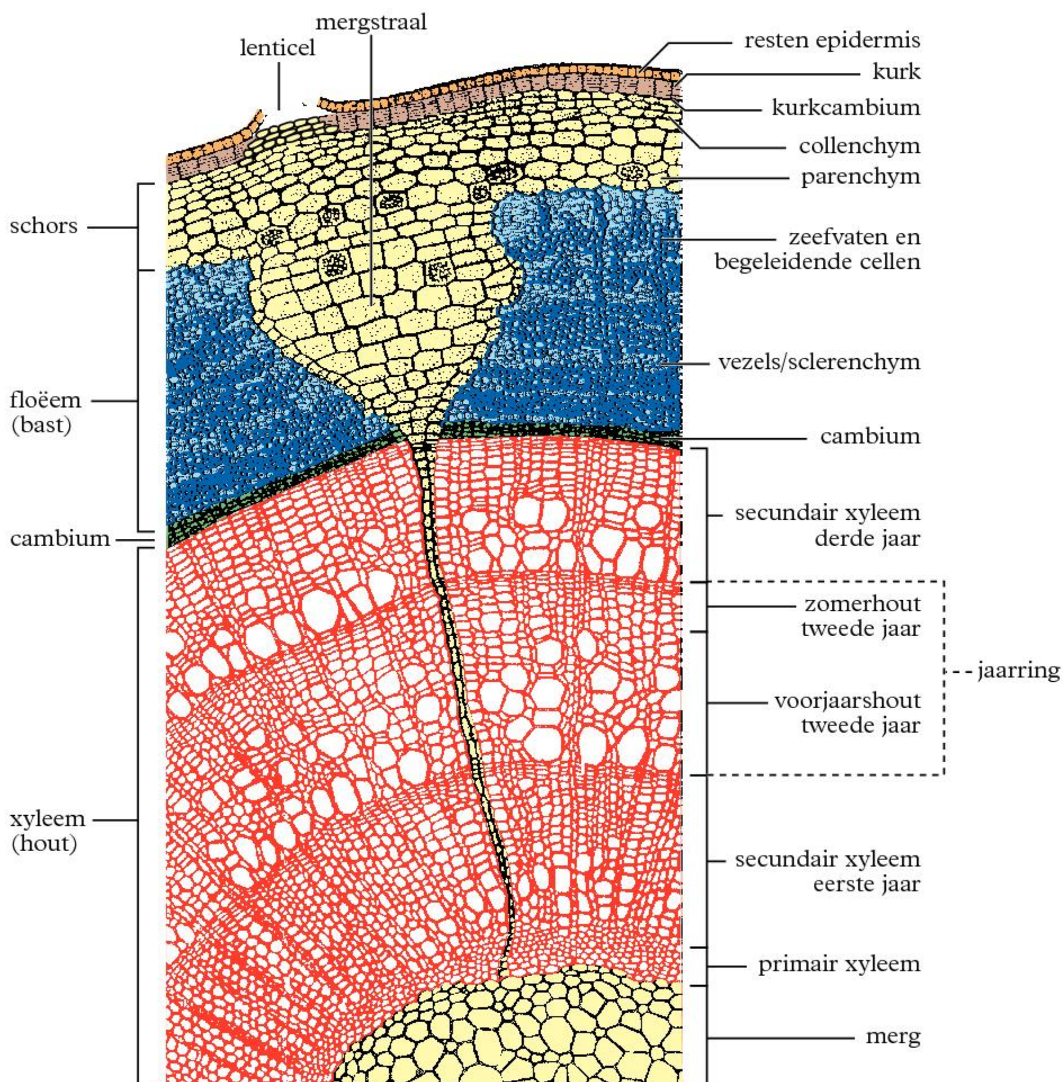
centrale cilinder, detail



Ruimtelijk schema van een stengel met detail van een vaatbundel, dwarsdoorsnede 1



Dwarsdoorsnede driejarige lindetak 2



D Plantenvoedingsstoffen, nutriënten

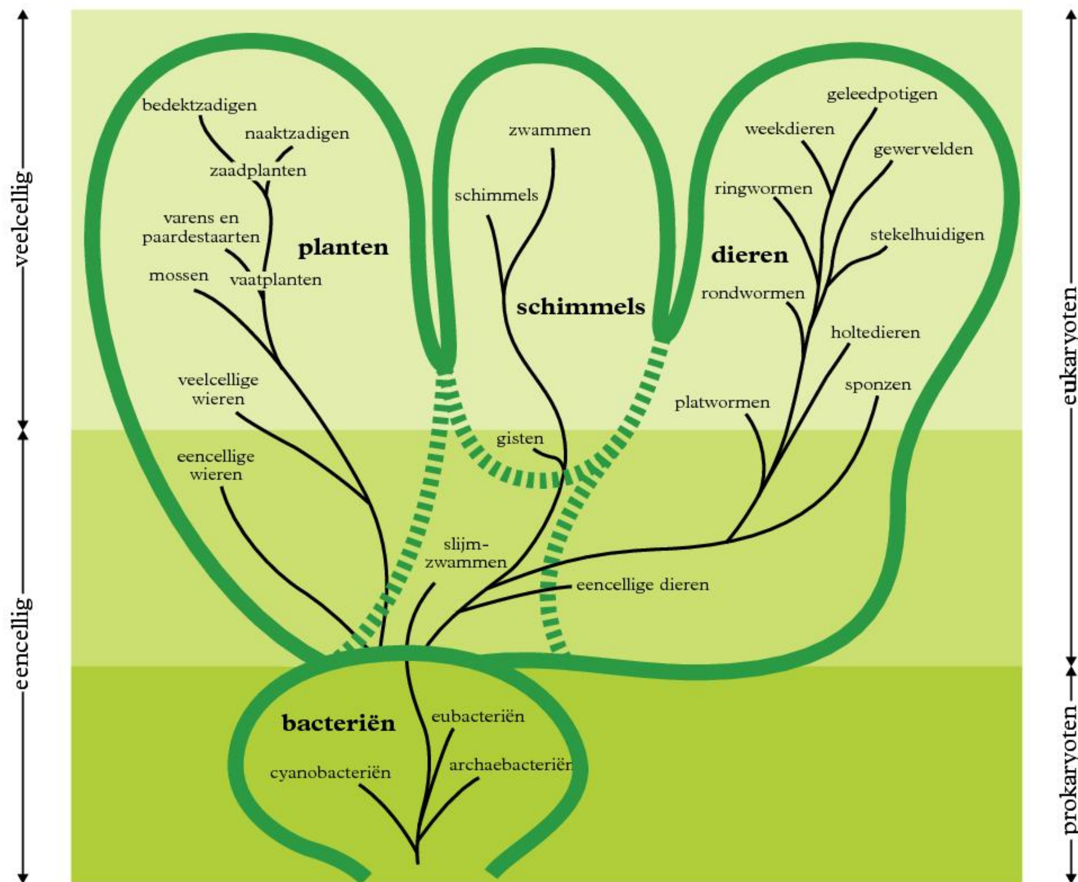
1 Macronutriënten

element	*opgenomen als*	*functies*
koolstof (C)	koolstofdioxide (CO_2)	belangrijk bestanddeel van organische verbindingen in planten
waterstof (H)	water (H_2O)	belangrijk bestanddeel van organische verbindingen in planten
zuurstof (O)	koolstofdioxide (CO_2)	belangrijk bestanddeel van organische verbindingen in planten
stikstof (N)	nitraat (NO_3^-) ammonium (NH_4^+)	bestanddeel van aminozuren, eiwitten, nucleotiden, nucleïnezuren, chlorofyl – actieve groep in co-enzymen
zwavel (S)	sulfaat (SO_4^{2-})	bestanddeel van cysteïne, methionine, eiwitten, co-enzymen, vitaminen – actieve groep in enzymen en co-enzymen
fosfor (P)	diwaterstoffosfaat ($H_2PO_4^-$) monowaterstoffosfaat (HPO_4^{2-})	bestanddeel van nucleotiden, nucleïnezuren, fosfolipiden en co-enzymen – energietransport, membraanstructuur
kalium (K)	kalium (K^+)	cofactor in eiwitsynthese – waterbalans en werking van huidmondjes – fotosynthese – vervoer van koolhydraten
calcium (Ca)	calcium (Ca^{2+})	activeren van enzymen – bestanddeel van celwanden – instandhouden van structuur en permeabiliteit van membranen – regelen van reacties van de cel op prikkels
magnesium (Mg)	magnesium (Mg^{2+})	bestanddeel van chlorofyl – activeren van enzymen

2 Micronutriënten

element	*opgenomen als*	*functies*
ijzer (Fe)	ijzer(II) (Fe^{2+}) ijzer(III) (Fe^{3+})	synthese van chlorofyl – actieve groep in enzymen en elektronendragers (cytochromen)
chloor (Cl)	chloride (Cl^-)	fotosynthese – waterbalans
boor (B)	diwaterstofboraat ($H_2BO_3^-$)	cofactor bij synthese van chlorofyl – koolhydraattransport – celdeling bij tweezaadlobbigen
mangaan (Mn)	mangaan(II) (Mn^{2+})	cofactor van veel enzymen – bij ontleding van water bij de fotosynthese – vorming van aminozuren – verbranding
zink (Zn)	zink (Zn^{2+})	activeren van enzymen – synthese van auxine, chlorofyl en eiwitten
koper (Cu)	koper (Cu^{2+})	plastocyanine, werkzaam in de fotosynthese – enzymen voor redoxreacties
molybdeen (Mo)	molybdaat (MoO_4^{2-})	stikstoffixatie – cofactor bij nitraatreductie
nikkel (Ni)	nikkel (Ni^{2+})	cofactor van een enzym van de stikstofstofwisseling
kobalt (Co)	kobalt(II) (Co^{2+})	belangrijk voor stikstofbindende planten (vlinderbloemigen), doordat het essentieel is voor de bacteriën van de wortelknolletjes (Rhizobium)

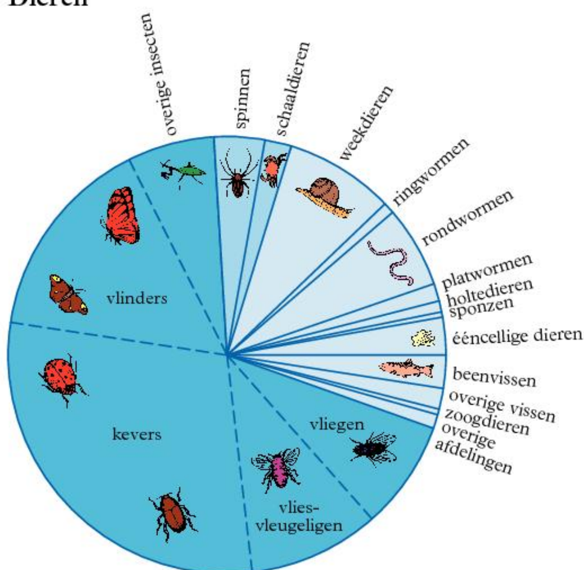
■ Als planten bedoeld zijn als veevoer voegt men aan kunstmest jood (I), seleen (Se) en kobalt (Co) toe. Deze elementen hebben een functie voor het vee, niet voor de plant zelf.



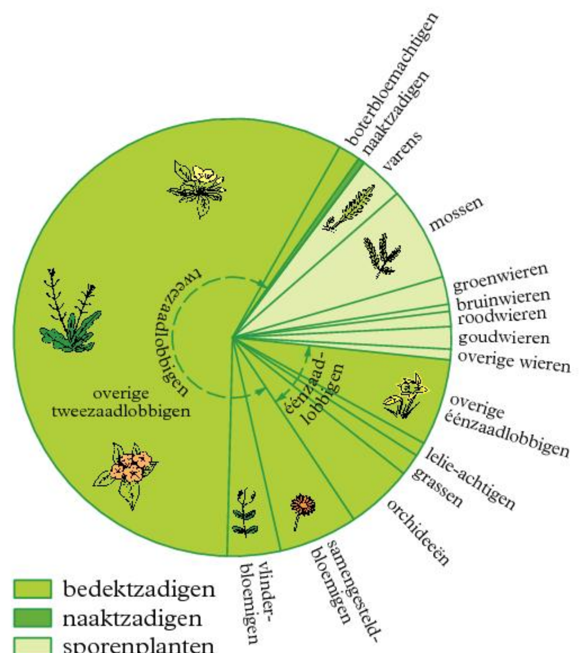
■ De vier rijken: zie tabel 78.

Diversiteit B

Dieren

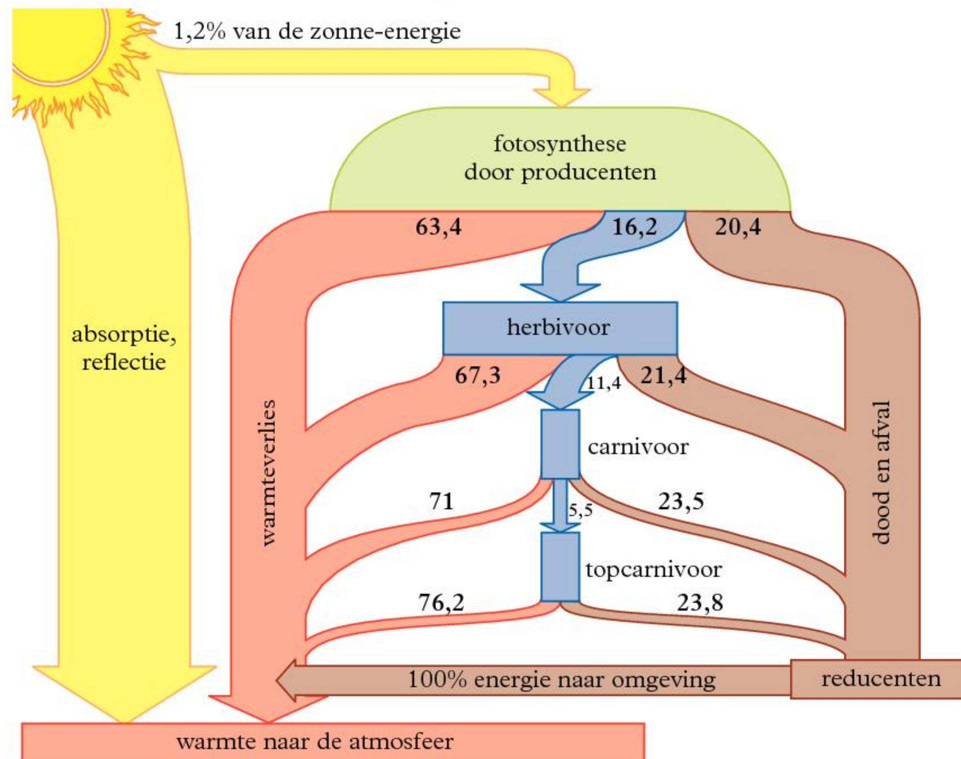


Planten

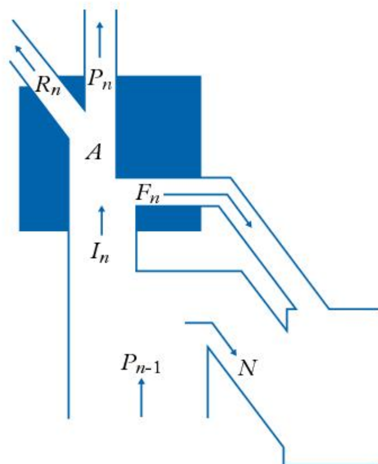


A Energiestroom

1 Energiestroom door een ecosysteem in %



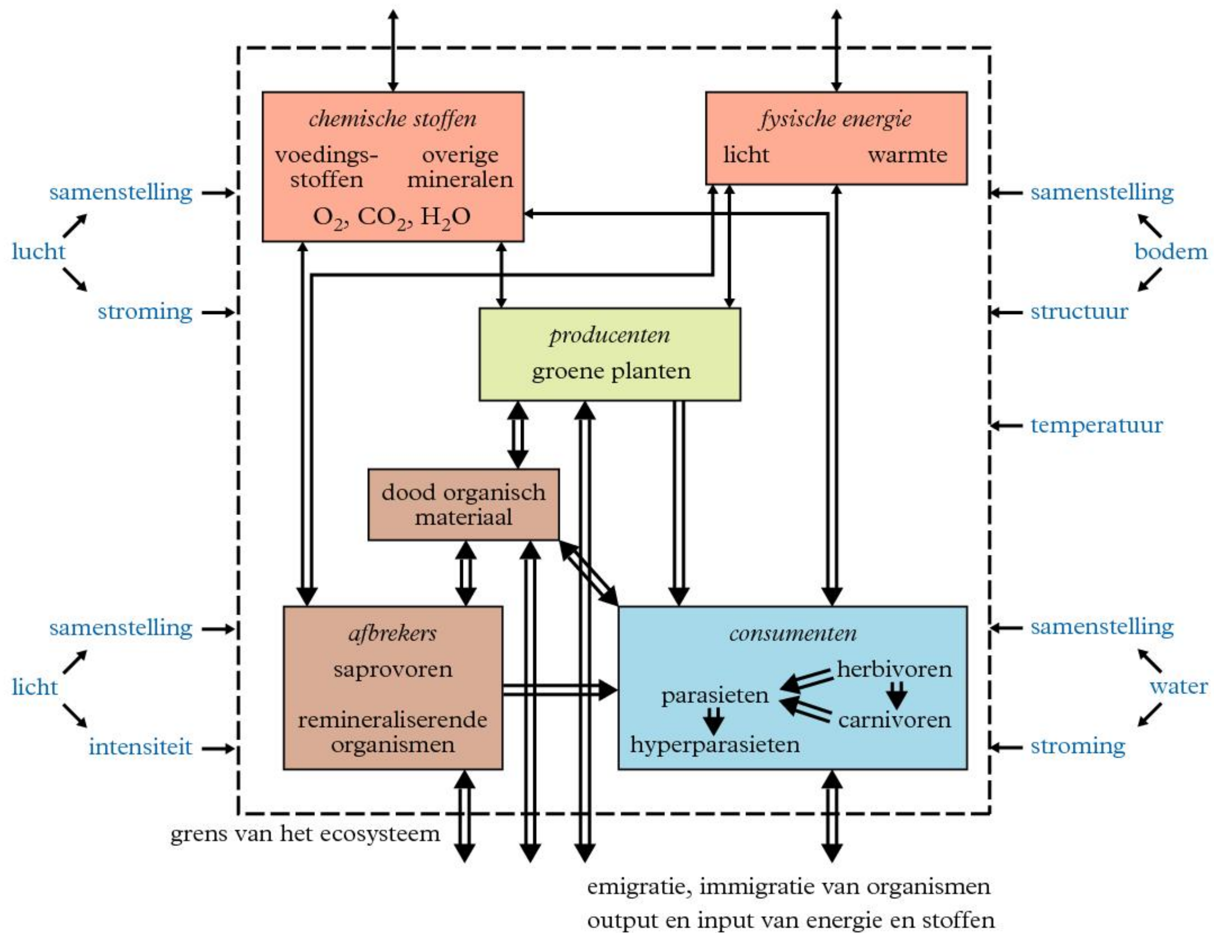
2 Energiestroom op trofisch niveau *n*



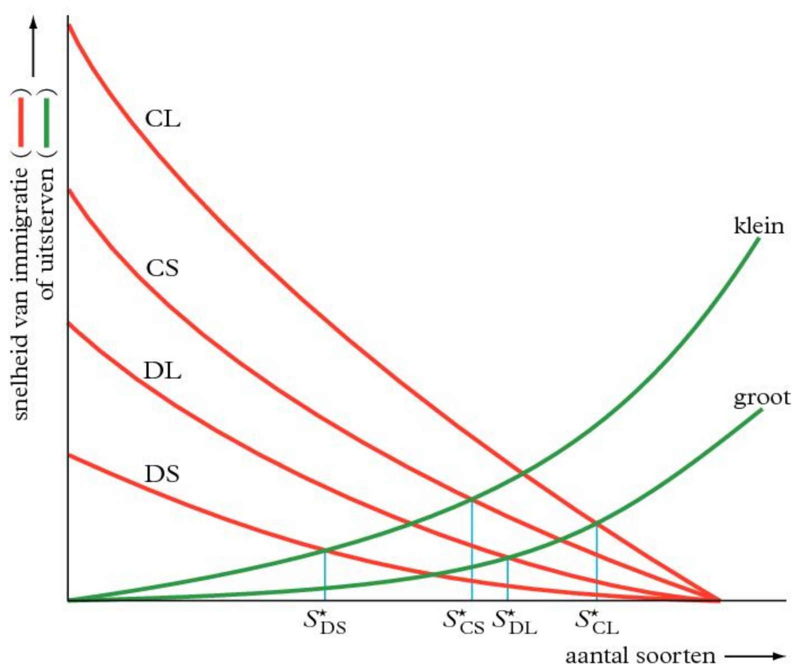
P_{n-1} = productiviteit op trofisch niveau $n-1$
P_n = productiviteit op trofisch niveau n
F_n = energieverlies door uitwerpselen op trofisch niveau n
I_n = energieopname in de vorm van organische stoffen op trofisch niveau n
N = niet opgegeten deel van de productie
R_n = energieverlies door dissimilatie op trofisch niveau n
A = hoeveelheid energie in organische stof die via het spijsverteringskanaal wordt geresorbeerd en in het bloed opgenomen

■ Energiestroom door trofische niveaus: assimilatie-efficiëntie (A/I) en productiviteitsefficiëntie (P/A) van een graslandmodel.

		A/I_n in %	P_n/A in %
ongewervelden	herbivoor	40	40
	carnivoor	80	30
	microbivoor	30	40
	detrivoor	20	40
gewervelden (ectotherm)	herbivoor	50	10
	carnivoor	80	10
gewervelden (endotherm)	herbivoor	50	2
	carnivoor	80	2



Eilandtheorie van McArthur en Wilson C



S^*= evenwichtstoestand
D = ver van vaste land
C = dichtbij vaste land
S = klein eiland
L = groot eiland

1 Groeifuncties

• onbegrensde groei

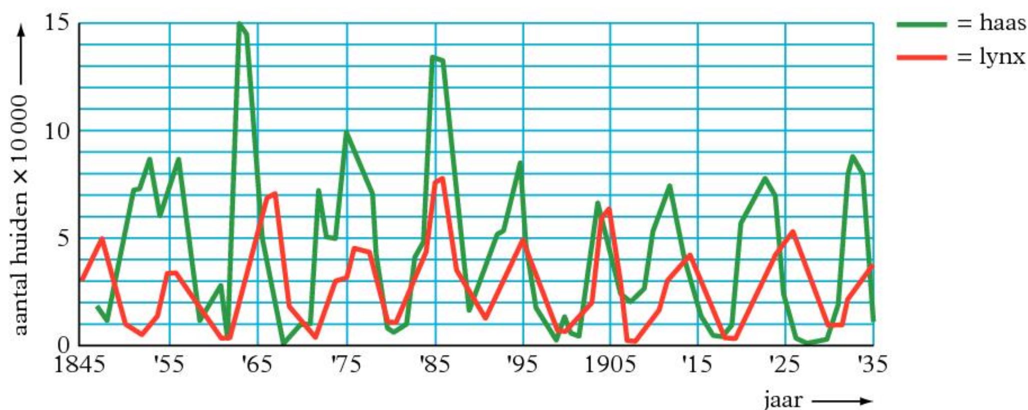
J-curve	$N(t) = N(0)e^{rt}$	$N(t)$ = populatiegrootte (aantal) op tijdstip t r = groeifactor

• begrensde groei

S-curve: onbegrensde groei gaat over in begrensde groei

differentiaalvergelijking	$\frac{dN}{dt} = rN\left(\frac{K-N}{K}\right)$	K = verzadigingspopulatie
populatiegrootte	$N(t) = \frac{K}{1+e^{a-rt}}$	a = integratieconstante die de positie van de curve t.o.v. de oorsprong definieert

2 Predator-prooirelaties, empirisch onderzoek

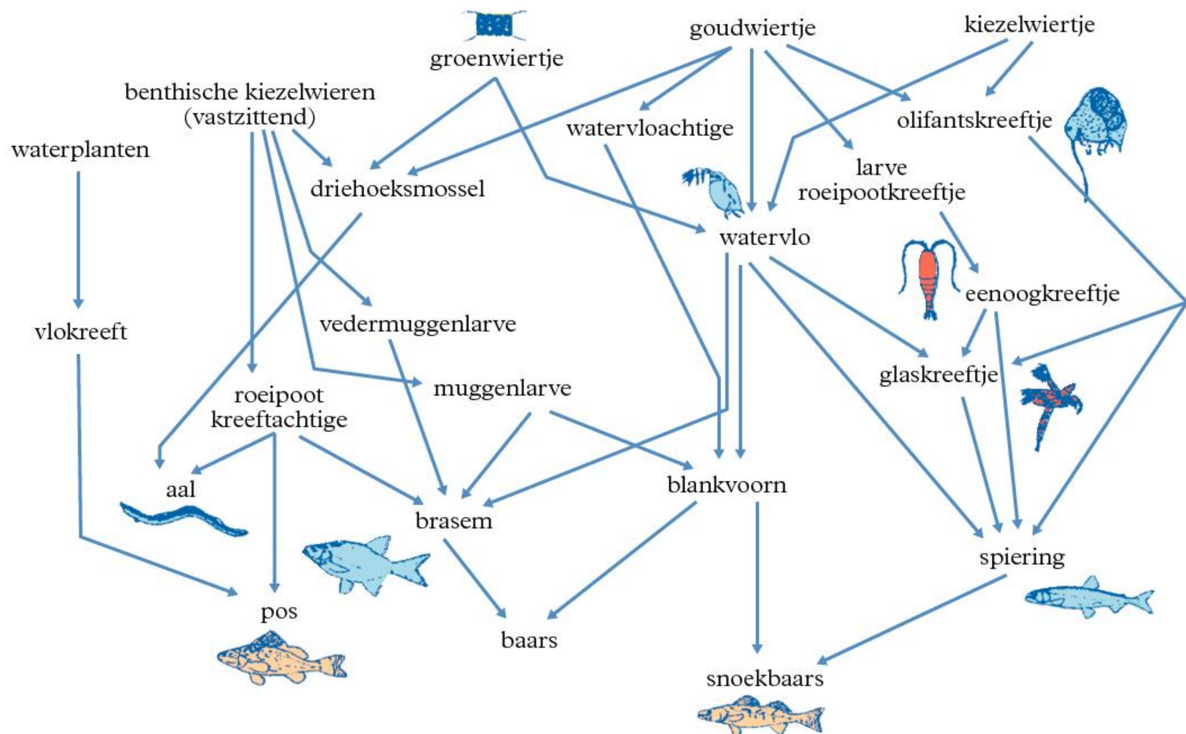


■ Populatieschommelingen van de Sneeuwschoenhaas en de Canadese Lynx. Het aantal berust op de door de Hudson Bay Company verhandelde huiden.

3 Verdeling van allelen van een gen in een populatie

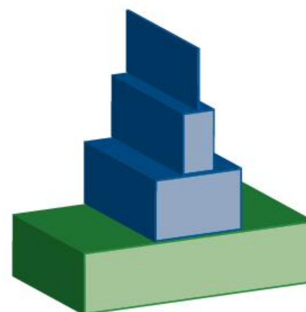
Wet van Hardy-Weinberg	$p^2 + 2pq + q^2 = 1$	p = frequentie van allel A q = frequentie van allel a $p + q = 1$ p^2 = kans op genotype AA $2pq$ = kans op genotype Aa q^2 = kans op genotype aa

Voedselweb (Tjeukemeer) 1



Piramide van productiviteit 2

biomassa in $g\,m^{-2}\,y^{-1}$



1 roofvis

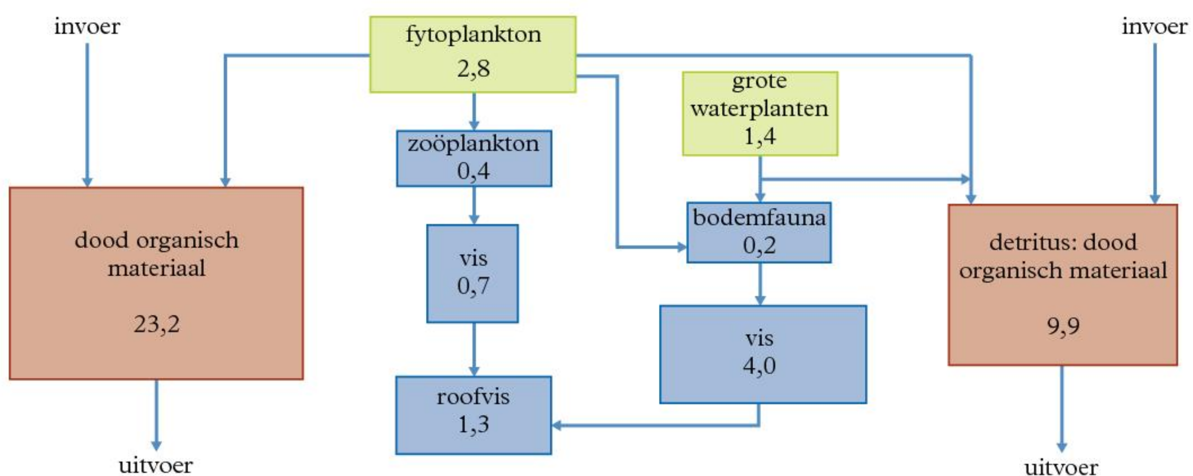
10 vis

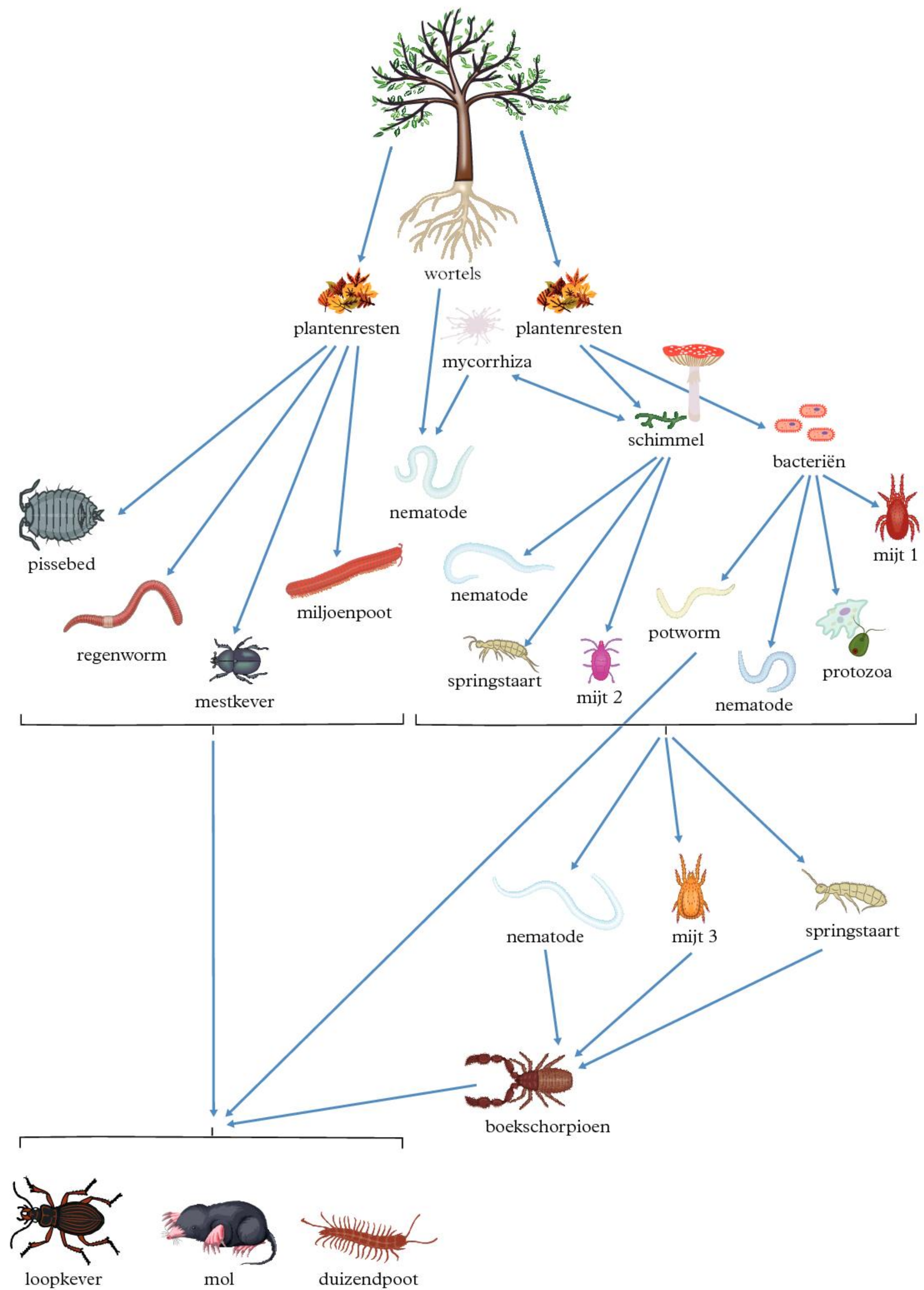
50 zoöplankton (dierlijk plankton)

840 fytoplankton (plantaardig plankton)

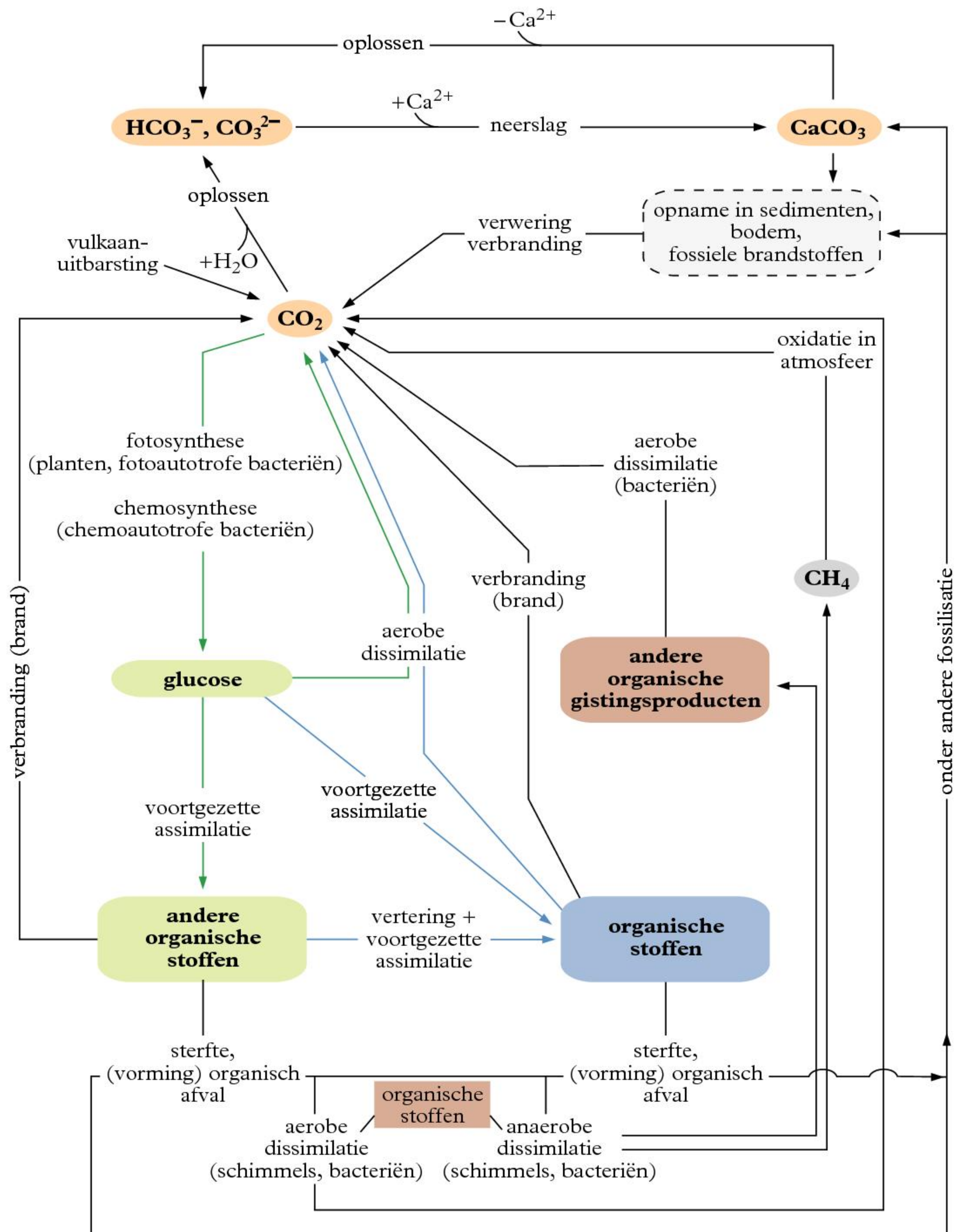
Verzamelingen van soorten van hetzelfde trofische niveau 3

biomassa in $g\,m^{-2}$




wortels
plantenresten
plantenresten
mycorrhiza
schimmel
bacteriën
nematode
pissebed
mijt 1
nematode
regenworm
miljoenpoot
potworm
mestkever
springstaart
mijt 2
protozoa
nematode
nematode
mijt 3
springstaart
boekschorpioen
loopkever
mol
duizendpoot

groep/soort	*grootte in mm*	*kenmerken*
mycorrhiza	kunnen mycelium vormen van vele m^3	symbiotische schimmels in het wortelstelsel van veel planten
schimmels	variabel	vele soorten, deels met mycelium dat heel uitgebreid kan zijn
bacteriën	microscopisch klein	heel veel soorten
nematoden / aaltjes	1 - 5 mm	komen in bovenste bodemlaag van ± 20 cm massaal voor
mijt 1, 2, 3	0,2 - 4 mm	heel veel soorten
protozoa	microscopisch klein	heel veel soorten
potworm	2 - 40 mm	kleur wit-witgeel – leven in grote aantallen in bovenste 10 cm van de bodem, mits grond gezond en vochtig is
springstaart	≤ 5 mm	tot 2 m diep in de grond
miljoenpoot	7 - 20 mm	veel soorten - in Nederlandse bossen is de meest bekende de oproller (7 mm) – sommige soorten zijn 2 - 3 mm – voedsel is meestal boomschors en rottend plantmateriaal
mestkever	≤ 25 mm	leeft deels bovengronds – legt eieren ondergronds, waarin ook de larven en de poppen leven – volwassen kever leeft tot het voorjaar ondergronds
regenworm	≤ 300 mm	nuttig door graafwerk, vooral in de bovenste 30 cm
pissebed	± 20 mm	leeft veel bovengronds, maar is ook in de bovenste bodemlaag actief – eet vooral plantenresten, soms ook plantenwortels
boekschorpioen	2 - 8 mm	vaak onder dood hout – 23 soorten in Nederland
loopkever	0,5 - 100 mm	de meeste soorten zijn kleiner dan 20 mm – eitjes worden vaak in de grond gelegd – larven en poppen leven ook vaak ondergronds
duizendpoot	≤ 265 mm	één paar poten per segment – leeft vooral van dierlijk voedsel
mol	110 - 160 mm	nuttige graver die alles eet wat hij in zijn gangen (5 cm breed en tot 200 meter lang, tot 120 cm diep) tegenkomt – geen ondergrondse vijanden


$-Ca^{2+}$
oplossen
$+Ca^{2+}$
HCO_3^-, CO_3^{2-}
neerslag
$CaCO_3$
oplossen
opname in sedimenten, bodem, fossiele brandstoffen
verwering verbranding
vulkaan-uitbarsting
$+H_2O$
CO_2
oxidatie in atmosfeer
fotosynthese (planten, fotoautotrofe bacteriën)
chemosynthese (chemoautotrofe bacteriën)
aerobe dissimilatie (bacteriën)
verbranding (brand)
CH_4
verbranding (brand)
aerobe dissimilatie
glucose
andere organische gistingsproducten
onder andere fossilisatie
voortgezette assimilatie
voortgezette assimilatie
andere organische stoffen
vertering + voortgezette assimilatie
organische stoffen
sterfte, (vorming) organisch afval
sterfte, (vorming) organisch afval
organische stoffen
aerobe dissimilatie (schimmels, bacteriën)
anaerobe dissimilatie (schimmels, bacteriën)

■ Bij knolletjesbacteriën komt een deel van de NH_3 ten goede aan de gastheerplant.

hoofdtijdperk (era)	*periode (systeem)*	*tijdvak (serie)*	*geschatte ouderdom in* 10^6 jaar	*opmerkingen*	*karakteristiek leven*
Kenozoïcum	*Kwartair*	Holoceen			Cro-Magnonmens – paalwoningen – vele grotschilderingen
		Pleistoceen	2	ijstijden	Heidelbergmens – Neandertaler – Javamens – Pekingmens – Homo habilis
	Tertiair	Plioceen		Alpiene plooiing	verdere ontwikkeling van de zoogdieren differentiatie mens/apen
		Mioceen			ontstaan van grote grasvlakten – ontwikkeling van herbivoren en van carnivoren
		Oligoceen			verdere ontwikkeling van zoogdieren o.a. van primaten
		Eoceen			sterke ontwikkeling van voorlopers recente zoogdieren
		Paleoceen	65		voortbestaan mesozoïsche zoogdierfauna
Mesozoïcum	*Krijt*	Boven-Krijt		Vroeg-Alpiene plooiing	hoogtepunt in ontwikkeling van reptielen, gevolgd door uitsterven van reuzenreptielen – uitsterven van ammonieten
		Onder-Krijt	136		eerste vogels – buideldieren – insectivoren en bedektzadigen
	Jura	Malm			eerste oervogel: Archeopteryx – bloeiperiode ammonieten, dinosauriërs en andere reptielen
		Dogger			
		Lias	190		
	Trias	Keuper			vele reptielen
		Muschelkalk			eerste schildpadden
		Buntsandstein	252		eerste zoogdieren
Paleozoïcum	*Perm*	Zechstein			ontstaan van grote delen nieuw land – verandering van klimaat
		Rotliegendes	280	Hercynische plooiing	laatste trilobieten en pantservissen crinoïden bijna uitgestorven – uitbreiding van reptielenfauna
	Carboon	Boven-Carboon			klimaat warm en vochtig, waardoor enorme plantengroei, ontstaan van steenkoollagen in N.W.-Europa – eerste zaadplanten en reptielen – ontwikkeling van insecten
		Onder-Carboon	345		sterke uitbreiding van crinoïden, koralen en brachyopoden - verdere ontwikkeling van haaien en amfibieën
	Devoon		395		eerste amfibieën – ontstaan van been- en kraakbeenvissen – eerste ammonieten – grote uitbreiding van landplanten
	Siluur		430	Caledonische plooiing	eerste landplanten – talrijke kaakloze vissen laatste graptolieten
	Ordovicium		500		verdere ontwikkeling trilobieten – opkomst graptolieten en nautilusachtigen – eerste vissen
	Cambrium		570		vrijwel alle groepen evertebraten vertegenwoordigd – overheersen van trilobieten
	Pre Cambrium	Cryptozoïcum	650	vele plooiingen + ijstijden	oudst bekende evertebraten – holtedieren en wormen
			3500		oudst bekende fossielen: bacteriën
			4800		vorming aarde

geschatte tijdsperiode in miljoen jaren

0, −1, −2, −3, −4, −5, −6, −7

Pleistoceen
Plioceen
Mioceen

Genus Homo
Genus Parantropus
Genus Australopitheus
Genus Ardipithecus

H. sapiens (sapiens)
H. (sapiens) neanderthalensis
H. heidelbergensis
H. antecessor
H. erectus
H. ergaster
H. habilis
P. robustus
P. borsei
P. aethiopicus
Ar. africanus
Ar. afarensis
Ar. ramidus
Ar. kadabba
Orrorin tugenensis
Sahelantropus tchadensis

maat voor hersenvolume in cm^3 (hier 1000-1500)

FOSSIELE vondsten en vindplaatsen
Oudste gevonden H. sapiens: Cro magnon, Frankrijk (Lascaux) en Oost-Europa. Hybridisatie H.sapiens met neanderthalensis is mogelijk geweest.

H. floresiënsis, Flores, Indonesie, dwergvorm van H. sapiens 0,012- 0,1.106

H.heidelbergensis, west en midden Europa, waarschijnlijk gemeenschappelijke voorouder van H. sapiens en H. neanderthalensis

H. antecessor, Spanje en Engeland, de eerste Europese mens?

H.erectus, eerste rechtoplopende hominide, gebruikte vuur. Pithecantropus, Java, Sinantropus, Peking

H. (erectus) ergaster, niet-Aziatische vorm van H. erectus, Kenia, aanwijzingen voor enig spraakvermogen

H.habilis, Olduvai, Tanzania. Aanwijzingen gevonden van samenleven met H. erectus en voorstadium van spraak. Werktuiggebruik.

genus Parantropus is een uitgestorven zijtak van Australopithecus. Krachtige kaken en schedelkam. Planteneters, zuid en oost Afrika

Ar. africanus, Zuid-Afrika (Taungkind) en Ar. afarensis, omgeving Tanzania (Lucy)

Ar. ramidus en Ar. kadabba, beide Ethiopië

Orrorin wordt gezien als de oudste mensachtige voorouder. Hij liep op twee benen.

over de positie van Sahelantropus is discussie: mogelijk voorouder van Gorilla, Tsjaad.

Proconsul spec. , centraal en oost-Afrika, een mogelijke voorouder van hominiden en Gorilla. Hij heeft geen staart.

ERFELIJK onderzoek

0, −0,01, −0,02, −0,03, −0,04, −0,05, −0,06, −0,07, −0,08, −0,09, −0,10, −0,11, −0,12, −0,13, −0,14, −0,15

ontstaan van blanke huid door mutatie in chr. 15 gen SLC24A5 (−0,01)

ontstaan haplogroep mtDNA K en U bij niet-Afrikaanse mannen (−0,05)

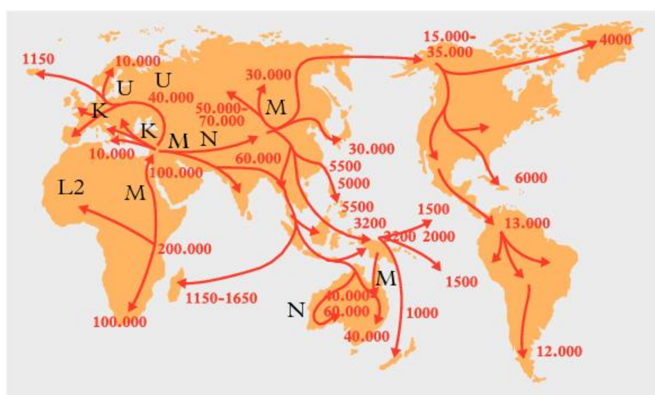
haplogroep M en N verschijnt vooral buiten Afrika, in verband gebracht met trek uit Afrika (−0,06)

haplogroep L2 verschijnt in mtDNA, typisch Afrikaans (−0,07)

geschatte periode van voorouder wat betreft Y-chromosoom van huidige mannen. (Y-chromosomale Adam)

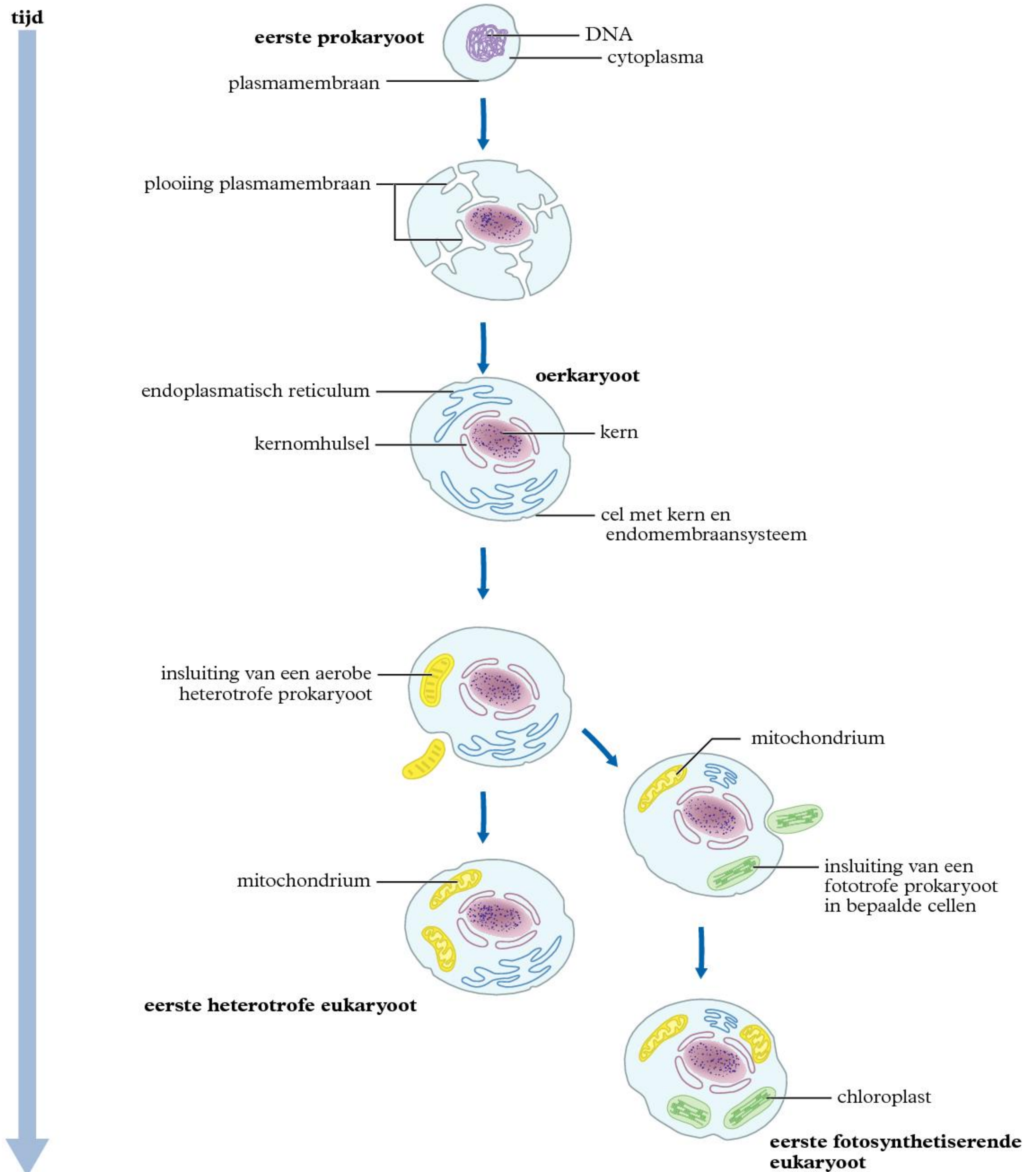
vrouwelijke voorouder wat betreft mtDNA van alle huidige mitochondria (mitochondriale Eva) (−0,15)

- Een Latijnse naam tussen haakjes betekent discussie over soort of ondersoort.
- De 'Out of Africa'-hypothese is voor een groot deel gebaseerd op de haplotypen van het Y-chromosoom en mtDNA. (haplotype = een serie allelen op opeenvolgende loci op een enkel chromosoom).
  Naast mtDNA en het Y-chromosoom spelen 'repeats' in het gen INS VNTR een rol.
  In Afrikaanse populaties komen daarvan 22 varianten voor, in niet-Afrikaanse slechts 3.



Verspreiding van Homo sapiens passend bij de 'Out of Africa' hypothese. De getallen geven het aantal jaren geleden (van 200.000-50.000) aan en zijn gebaseerd op de paleontologische en archeologische gegevens en genetische studies. De letters corresponderen met de hierboven genoemde haplogroepen.

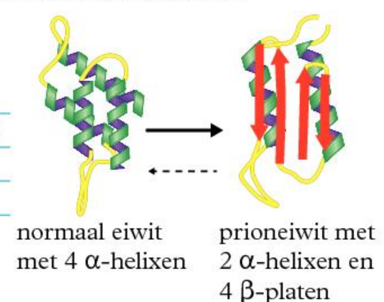
C Endosymbiosetheorie van Margulis



antibioticumgroep	*voorbeelden*	*werking*	*bijzonderheden*
tetracyclinen	tetracycline doxycycline	remmen de eiwitsynthese door binding aan het 30S ribosomale deel	resistentie door actieve uitscheiding middels "pompen" in het bacteriemembraan en blokkering van aanhechtingsplaats ribosoom
sulfonamiden/ trimethoprim		leggen de vorming van foliumzuur stil	resistentie door opname van foliumzuur uit de omgeving
penicillinen/ cefalosporinen	penicilline G amoxicilline	blokkeren met de β-lactamkern een enzym dat betrokken is bij de vorming van de celwand. Deze wordt doorlaatbaar voor water, waardoor de bacteriecel barst	uitschakeling van o.a. amoxicilline door bacteriële afbraak. Daarom wordt het in combinatie met claviculaanzuur gebruikt, dat competitief het β-lactamase wegvangt.
	oxacilline	remt RNA-polymerase van bacteriën	penicillinase resistent
macroliden	erythromycine	remmen de eiwitsynthese door binding aan het 50S ribosomale deel	resistentie door methylering van adenine aan het 50S ribosoom en door uitpompen via de celmembraan
(fluoro-) quinolonen	gemifloxacine moxifloxacine	verhinderen bacteriële transcriptie en translatie	resistentie door uitpompen via celmembraan en door blokkering aangrijpingspunt van quinolonen
aminoglycosiden	gentamicine tobramycine streptomycine	remmen de eiwitsynthese door binding aan het 30S ribosomale deel	synergistisch met β-lactam – geen orale toediening – resistentie door actieve uitscheiding middels "pompen" in het bacteriemembraan en blokkering van aanhechtingsplaats ribosoom
nitro-imidazolen	metronidazol	produceren superoxideradicalen die het DNA vernietigen	specifiek tegen anaerobe bacteriën
glycopeptiden	vancomycine	verhindert vorming van dwarsverbindingen van celwandmoleculen	wordt vooral gebruikt als laatste redmiddel bij MRSA-infectie – resistentie door wijziging aangrijpingspeptide door de bacterie

Prionen E

prion en bron	*voorkomend bij*	*mogelijk effect aanwezigheid*
HET-s prionmutant van normaal HET-S gen	Podospora anserina (een schimmel)	kolonie met s-mutant selectieve sporendoding van S-mutant bij seksuele voortplanting, gevoeliger voor infectie met mitochondriaal verouderingsplasmide
URE3 prionmutant van ure2p gen	Saccharomyces cerevisiae (een gist)	groei mogelijk op N-arme bron
ISP+ prionmutant van sfp1	Saccharomyces cerevisiae	antisuppressor van bepaalde Sup35 genen (translatie-einde factoren)
PrP^{PR}, ook wel CD230 Prionisoform van PrP^{C}	mens	Creutzfeld-Jakob, kuru en fatal familial insomnia
PrP^{PR} variant	koe, overdraagbaar op mens	BSE (gekke koeienziekte)
PrP^{PR} variant	schaap	scrapie
PrP^{PR} variant	o.a. hert, rendier	chronic wasting disease



normaal eiwit met 4 α-helixen

prioneiwit met 2 α-helixen en 4 β-platen

95 ADI-waarden [1]

A Contaminanten

ADI, aanvaardbare dagelijkse inname, uitgedrukt in mg per kg lichaamsgewicht

	ADI	*bijzonderheden*
• *spoorelementen*		
arseen	$2 \cdot 10^{-3}$ [2]	voor anorganisch As, voor de meeste organische As-verbindingen ligt deze waarde aanzienlijk hoger
broom (als Br^-)	1	
cadmium	[2]	400-500 μg per week per persoon
jood		1 mg per dag per persoon
koper	0,05-0,5	
kwik		0,3 mg per week per persoon waarvan niet meer dan 0,2 mg als methylkwikverbindingen
lood		3 mg per week voor een volwassene, vooropgesteld dat de belasting uit lucht en drinkwater niet hoger is dan resp. 280 en 700 μg per week; voor kinderen 25 μg per kg lichaamsgewicht per week
tin	2	
ijzer	0,8	voor alle ijzerverbindingen, uitgezonderd de ijzeroxiden
zink	0,3-1,0	
• *chloorkoolwaterstoffen*		
aldrin	$0,1 \cdot 10^{-3}$	
DDT	$20 \cdot 10^{-3}$	
β-HCH	$< 1 \cdot 10^{-3}$	hexachloorcyclohexaan
heptachloor	$0,25 \cdot 10^{-3}$	
• *stikstofverbindingen*		
nitraat	3,7	K- of Na-zout, hier berekend als Na-zout
nitriet	0,04	K- of Na-zout, hier berekend als nitrietion
• *aromaat*		
styreen	$40 \cdot 10^{-3}$	
TCDD	$1\text{-}4 \cdot 10^{-9}$	meest giftige 2,3,7,8-tetrachloordibenzo-p-dioxine

B Additieven

	ADI	*bijzonderheden*
• *aromastoffen*		
trans-anethool	2,5	*trans*-1-(4-methoxyfenyl)propeen
benzaldehyde	5	fenylmethanal
carvon	1	$C_{10}H_{14}O$, 2-methyl-5-(1-methylethenyl)-cyclohex-2-een-1-on
citral	0,5	*cis*- en *trans*-3,7-dimethyl-octa-2,6-diënal (neral en geranial)
ethylbutyraat	15	ethylbutanoaat
ethylheptanoaat	2,5	
ethyllauraat	1	ethyldodecanoaat
eugenol	2,5	4-allyl-2-methoxyfenol
fumaarzuur	6	*trans*-buteendizuur en zijn Na-zout, ook zuurteregelaar
kaneelaldehyde	0,7	*trans*-3-fenylpropenal
mentol	0,2	2-isopropyl-5-methylcyclohexanol
octanal	0,1	
vanilline	10	(4-hydroxy-3-methoxyfenyl)methanal, smaakstof

vervolg

	ADI	*bijzonderheden*
• *conserveermiddelen*		
benzoëzuur	5	benzeencarbonzuur en zijn Ca-, K- en Na-zouten, ook aromastof, E210
formaldehyde	0,15	2 mg per kg verpakte eet- en drinkwaren; methanal, E240
mierenzuur	3	methaanzuur en zijn Ca- en Na-zouten, ook vergasser, E236
sorbinezuur	25	*trans*, *trans*-hexa-2,4-dieenzuur en zijn Ca-, K- en Na-zouten, E200
sulfiet	0,7	berekend als SO_2; bijv. als SO_2, Na_2SO_3, $NaHSO_3$, E221-228
wijnsteenzuur	30	2,3-dihydroxybutaandizuur en de Ca-, K- en Na-zouten hiervan, ook zuurteregelaar, E334
• *kleurstoffen*		
aluminium	0,6	Al en zijn verbindingen, hier berekend als Al; ook hechtstoffen, E173
amarant	0,5	$C_{20}H_{11}N_2Na_3O_{10}S_3$, rood, E123
briljantblauw FCF	10-12,5	$C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_3$, E133
briljantgroen BS	5	$C_{27}H_{25}N_2NaO_7S_3$, E142
chinolinegeel	10	$C_{18}H_9NNa_2O_8S_2$, E104
chocoladebruin HT	1,5	$C_{27}H_{18}N_4Na_2O_9S_2$, E155
riboflavine	0,5	vitamine B_2, geel, E101
ijzeroxiden	0,5	E172
• *oplosmiddelen*		
aceton		5 mg per kg voedsel
butaan-1,3-diol	4	dragerstof
ethylacetaat	6-25	ook aromastof
propaan-2-ol	1,5	
triethylcitraat	20	$C_{12}H_{20}O_7$, dragerstof
• *diversen*		
adipinezuur	5	hexaandizuur en zijn K-, Na- en NH_4-zouten, zuurteregelaar, E355
alginaten	25	verdikkingsmiddel, E400-405
ammoniumfosfatiden	30	emulgator, E442
L-ascorbinezuur-vetzuuresters	1,25	antioxidanten
chloor (Cl_2)		2,5 g per kg cakemeel, 'meelverbeteraar', bleekmiddel
chloordioxide		30 ppm van het meel, 'meelverbeteraar', bleekmiddel
dichloordifluor-methaan	1,5	vriesvloeistof, drijfgas
kaliumbromaat		75 ppm van het meel, 'meelverbeteraar', E924
stearylcitraat	50	citroenzuur dat gedeeltelijk veresterd is met in hoofdzaak stearyl- maar ook met palmitylgroepen, emulgator
tinchloride	2	tin(II)chloridedihydraat, verdikkingsmiddel, antioxidant
α-tocoferol	2	vitamine E, antioxidant, E307
wonderolie	0,7	ricinusolie, 'castorolie', los-, smeer- en glijmiddel
• *zoetstoffen - niet energieleverend* ▶3		
acesulfaam-k	9	E950
aspartaam	40	E951
cyclamaat	11	E952
sacharine	2,5	E954

1 ▶ ontleend aan *Het additievenboekje*, SDU uitgeverij, 1988 en aan *E = Eetbaar*, 4e druk, door dr. J. Kamsteeg, Gottmer Uitgeversgroep, 2001

2 ▶ Daar waar ADI de aanvaarde dagelijkse inname aangeeft, geeft LD50 (median Lethal Dose for 50% of subjects) aan hoeveel stof bij 50% van een populatie tot de dood leidt. LD50 is een maat voor de acute giftigheid en zegt niets over de lange-termijn-toxiciteit van de stof, omdat de stof in één keer wordt toegediend. Verder is LD50 verschillend voor ieder organisme. De LD50 wordt vaak bepaald voor orale (via de mond) en dermale (via de huid) toedieningswegen. Oraal geldt voor arseen: $LD50_{rat} = 763\ mg\ kg^{-1}$. Oraal geldt voor cadmium: $LD50_{rat} = 2330\ mg\ kg^{-1}$ en $LD50_{muis} = 890\ mg\ kg^{-1}$.

3 ▶ ontleend aan de informatiebrochure van Voorlichtingsbureau voor de Voeding, 1997

De in deze tabel opgenomen gegevens dienen voor een eerste oriëntatie. Meer informatie is bijvoorbeeld te vinden op de Chemiekaarten van het Veiligheidsinstituut.
Uit het ontbreken van gegevens mag geen onschadelijkheid geconcludeerd worden! Bij het ontbreken van gegevens in Nederland zijn in sommige gevallen buitenlandse gegevens gebruikt.

Betekenis van de kolommen

I – giftig bij inademen van gas, damp of stof	VI – brand- en/of explosiegevaar
II – grenswaarde (TGG ▶1 8 uur) mg m^{-3}	VII – het meest opmerkelijke gevaaraspect
III – grenswaarde (TGG ▶1 15 minuten) in mg m^{-3}	VIII – eerste hulp bij a) inademen b) inslikken c) huid- of oogcontact
IV – giftig bij inwendig gebruik	IX – bijzonderheden
V – gevaarlijk voor huid en ogen	

Betekemis van de afkortingen in kolom VIII

A – arts waarschuwen	G Br – *geen* braken opwekken	W – veel water laten drinken
B – zonodig beademen	HZ – halfzittende houding laten innemen	Z – naar ziekenhuis vervoeren
Br – braken opwekken	K – verontreinigde kleren uittrekken	
D – douchen	Sp – mond spoelen met veel water	

■ Bij inademen van gevaarlijke chemicaliën altijd zorgen voor rust en frisse lucht; bij huid- of oogcontact altijd spoelen met water.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII inademen	VIII inslikken	VIII huid/ogen	IX
aceetaldehyde [ethanal]	■	37	92	■	■	■	zeer brandbaar	HZ – A	W – AB – Z	K – D – A	
aceton [propanon]	■	1210	2420	■	■	■	zeer brandbaar	A	W – G Br – Z	K – D – A	
acetyleen [ethyn]	■	1080				■	explosiegevaar	B – A			Explosief bij verwarming met zuurstof, koper, zilver of kwik.
aluminiumchloride	■			■	■		gevaarlijke dampen	HZ – Z	Sp – W – Z – G Br	K – A	Veroorzaakt brandwonden.
aminen (alifatische)	■	9 – 15		■	■	■	zeer brandbaar				
ammonia; ammoniak	■	14	36	■	■	■	gevaarlijke dampen	HZ – A – Z		K – D – A	Explosief met halogenen, kwik of zilveroxide.
ammoniumnitraat	■			■	■	■	explosiegevaar		Br – Z	K – A	Explosief in gesmolten toestand of met organische stoffen.
ammoniumnitriet	■			■		■	explosiegevaar				Explosief bij verwarmen of door schokken.
ammoniumsulfide	■			■	■	■	gevaarlijke dampen	HZ – B – A/Z	W – Z	K – A	
aniline [benzeenamine]	■	1,94	3,87	■	■	■	zeer vergiftig	Z	W – Br – Z	K – Z	
arseen en arseenverbindingen	■	0,025	0,05	■	■		zeer vergiftig	B – HZ – Z	Sp – W – Z	K – D	
azijnzuur [ethaanzuur]	■	25	50	■	■	■	bijtend	HZ – Z	W – G Br – Z	K – A	
barium en bariumverbindingen (behalve $BaSO_4$)	■	0,5		■	■			HZ – Z	Sp – W – Br – Z	K – A	
benzaldehyde [fenylmethanal]	■	4,4	17,4	■	■	■		B – A	Sp – W – Br	K – D	
benzeen	■	3,25		■	■	■	kankerverwekkend	B – A	Br – Z	K – A	Niet gebruiken als andere stoffen mogelijk zijn.
benzine	■	240	480	■	■	■	explosiegevaar	B	G Br – A/Z	K – D – A	
benzoëzuur [benzeencarbonzuur]	■			■	■	■		HZ	Sp – W – Z	K – D – A	

vervolg ▶

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			IX
								inademen	*inslikken*	*huid/ogen*	
benzoylperoxide	■	5		■	■	■	explosiegevaar				Explosief bij sterke verhitting.
blauwzuur [waterstofcyanide]	■	1		■	■	■	zeer vergiftig	B – A/Z		K – Z	
bleekwater, bleekpoeder	zie hypochlorieten										
boor en boorverbindingen	■			■	■				Sp – W – Br – Z	K – A	
broom	■		0,2	■	■		gevaarlijke dampen	HZ – Z	Sp – W – G Br – Z	K – D	
butaan-1-ol	■	310	310	■	■	■	gevaarlijke dampen	HZ	Br – A/Z	K – D – A	
calcium	■			■	■	■	brandgevaarlijk		W – A	K – A	Branden blussen met zand.
calciumoxide	■	1	4	■	■			HZ– A	W– Z	K – A	
carbid [calciumacetylide]	■			■	■	■	explosiegevaar		Sp – W – Z	K – A	Branden blussen met zand; met water ontstaat acetyleen [ethyn].
chloor	■		1,5	■	■	■	zeer vergiftig	HZ – A		K – A	Explosief met waterstof, acetyleen of ammoniak.
chloorazijnzuur [chloorethaanzuur]	■			■	■	■					
chloorbenzeen	■	23		■	■	■		B	Melk – Br – Z	K	
chloorzuur	■			■	■						
chloroform [trichloormethaan]	■	5		■	■	■	gevaarlijke dampen	A	Sp – G Br – A/Z	K – D	Explosief met sterke basen.
chroomtri-oxide (chroom(VI)oxide), chromaten en dichromaten	■	0,025	0,05	■	■	■	bijtend	HZ – A	W – Z	K – A	Bij veel reacties kans op brand of explosie.
cyaniden	■	1	5	■	■		zeer vergiftig				
cyclohexeen	■	1015		■	■	■	gevaarlijke dampen	B	G Br – Z	K	
diamminezilverionen-, oplossing	■	.		■	■	■	explosiegevaar				Explosief na enige tijd staan; *niet bewaren.*
dikaliumcarbonaat (kaliumcarbonaat)	zie dinatriumcarbonaat (natriumcarbonaat)										
dinatriumcarbonaat (natriumcarbonaat)	■			■	■				W – G Br	A	
esters van lagere alcoholen en lagere zuren	■			■	■	■					
ethanol (ethylalcohol; alcohol)	■	260		■	■	■	verslavingsgevaar	A	Br – A/Z	K – D	Vaak gemengd met het zeer giftige methanol (methylalcohol).
ether [ethoxyethaan]	■	308	616	■	■	■	explosiegevaar	B	G Br – B – Z	K– D	Verdampt gemakkelijk; damp met zuurstof explosief; vloeistof na lang staan explosief.
ethylacetaat [ethylethanoaat]	■	550	1100	■	■	■		B	Sp – W – Br– Z	K	
fenol [benzenol]	■	8		■	■	■	bijtend	HZ – Z	Sp – G Br – Z	K – Z/A	Niet met blote handen aanraken.
fluor	■		0,5		■	■	zeer vergiftig	Z		K – D/Z	Reageert heftig met vele stoffen o.a. waterstof.
fluoriden (oplosbare)	■		3,5	■	■			HZ – A	Melk – G Br – Z	K – A	
formaldehyde [methanal], formaline	■	0,15	0,5	■	■	■	bijtend	HZ – B – Z	W – Sp – Z	K – D – A	
fosfor (rood)					■	■					
fosfor (wit)	■	0,1		■	■	■	uiterst brandbaar	HZ – Z	Sp – W – Br – A/Z	K – D – A	Kan spontaan aan de lucht ontbranden; onder water bewaren.
fosforhalogeniden	■	1		■	■	■	bijtend	HZ – Z	Z	K – D	Reageren heftig met water en vele andere stoffen.
fosforpentoxide [difosforpentaoxide]	■	1		■	■		bijtend	HZ – A/Z	Sp – Z	K – A	Reageert heftig met water.
fosforzuur	■	1	2	■	■		bijtend	HZ – A	W – A/Z	K – D – A	

vervolg ▶

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			IX
								inademen	*inslikken*	*huid/ogen*	
glyceryltrinitraat				■		■	explosiegevaar				Explosief door stoten, slaan of verhitten.
glycol [ethaan-1,2-diol]	■	52	104	■	■	■	schadelijk		Br – Z		
hexaan-1-ol	■	210	210	■	■	■	schadelijk		A	K	
hypochlorieten				■	■		bijtend	HZ – A/Z	Sp – W – G Br – Z	K – D – A	Met zuren ontstaat chloorgas.
jood	■	1		■	■		schadelijk	HZ – Z	Sp – W – A	K – D – A	Vormt met ammoniak explosieve verbindingen.
kalium	■			■	■	■	zeer brandbaar	HZ – B – Z	Sp – W – G Br – A	K – D – A	Branden blussen met zand; onder petroleum bewaren.
kaliumchloraat	■			■	■	■	explosiegevaar	A	Sp – W – Br – Z	K	Explosief door verhitting; gemengd met zwavel, fosfor of andere oxideerbare stoffen explosief bij stoten of wrijven.
kaliumhydroxide, kaliloog	■	2		■	■		bijtend	HZ – A	W – A /Z	K – A	
kaliumpermanganaat	■			■	■	■	schadelijk	HZ – B – Z	Sp – W – Z	K – D – A	Explosief met vele stoffen o.a. met geconcentreerd zwavelzuur.
koolstofdioxide	■	9000		■	■			B – A/Z		A	Koolzuursneeuw kan brandwonden geven.
koolstofdisulfide	■	30		■	■	■	gevaarlijke dampen	B – A	Br – Z	K – A	Explosief met zuurstof of door spontane ontleding; in donker bewaren.
koolstofmono-oxide	■	29				■	zeer vergiftig	B – Z			Bij vergiftiging zuurstof toedienen.
koperzouten	■			■	■						
kwik	■	0,02		■	■		zeer vergiftig	A	Sp – W – A	K – A	Explosief met ammoniak, acetyleen of oxaalzuur.
kwikverbindingen (oplosbare)	■	0,02		■	■		zeer vergiftig	A	Melk – Br – Z	K – A	
lood en loodverbindingen	■	70 ▸2		■	■		zeer vergiftig	A	Sp – W – Br – Z	K – A	
magnesium	■			■	■	■	uiterst brandbaar		A	A	Fijn verdeeld magnesium kan explosief ontbranden; blussen met zand.
mangaanverbindingen	■			■	■			A	Sp – W – Br – A	K	
methaan en andere alkanen	■					■		B – A			Explosief met zuurstof of chloor.
methanol (methylalcohol)	■	260	520	■	■	■	zeer vergiftig	A	Br – A/Z	K – D	
mierenzuur [methaanzuur]	■		5	■	■	■	bijtend	HZ – A	Sp – W – G Br – Z	K – D – A	Reageert heftig met sterke oxidatoren en basen.
natrium	■			■	■	■	zeer brandbaar	HZ – B – Z	Sp – W – G Br – A	K – D – A	Branden blussen met zand; onder petroleum bewaren.
natriumhydroxide, natronloog	■	2		■	■		bijtend	HZ – A	A/Z	K – A	
nitraten	■			■	■	■	explosiegevaar		W – A/Z	K – D	Vooral organische nitraten zijn explosief.
nitreerzuur	■			■	■	■	bijtend	HZ – B – Z	W – G Br – Z	K – A	Altijd nitreerzuur in water gieten, niet omgekeerd.
nitreuze dampen	■	4		■	■	■	gevaarlijke dampen	HZ – Z		K – A/Z	Reageren heftig met brandbare stoffen.
nitrieten	■			■	■	■	explosiegevaar	A	W – Br – Z	K – A	Met zuren ontstaat nitreuze damp.
nitrobenzeen	■	1		■	■	■	zeer vergiftig	B – Z	W – Br – Z	K – Z	Explosief met vele oxidatoren.
organische halogeenverbindingen	■			■	■	■					
oxaalzuur [ethaandizuur]	■	1		■	■		bijtend	HZ – A		K – D – A	

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII *inademen*	VIII *inslikken*	VIII *huid/ogen*	IX
ozon	■	0,12 ▶3			■	■	vergiftig				
pentanolen	■			■	■	■	schadelijk	A	A	K – A	
perchloorzuur	■			■	■	■	explosiegevaar	HZ – B – A	Sp – W – Z	K – A	Kan zonder duidelijke oorzaak exploderen.
petroleum	■			■	■	■			G Br – A/Z	K	
petroleumether	■			■	■	■	explosiegevaar	B	G Br – Z	K	Explosief met zuurstof.
pikrinezuur [2,4,6-trinitrofenol]	■			■	■	■	explosiegevaar		W – A	K – A	Vochtig bewaren; geen metalen spatels gebruiken.
propaan-1-ol	■	500		■	■	■		A	Sp – W – A	K – D	
propionzuur [propaanzuur]	■	31	62	■	■	■	bijtend	HZ – A	Sp – W – Z	K – D – A	
salpeterzuur	■		1,3	■	■	■	bijtend	HZ – Z	Sp – W – Z	K – D – H	Geconcentreerd salpeterzuur kan papier, hout e.d. doen verkolen; geeft gele vlekken op de huid.
stikstofdioxide	■	0,4		■	■	■	gevaarlijke dampen	HZ – Z		K – A/Z	Reageren heftig met brandbare stoffen.
stikstofmono-oxide	■	0,25		■	■	■	gevaarlijke dampen	HZ – Z		K – A/Z	Reageren heftig met brandbare stoffen.
sulfiden (oplosbare)	■			■	■		zeer vergiftig	HZ – A	Sp – W – G Br – Z	K – A	Met zuren ontstaat waterstofsulfide.
terpentine	■	564		■	■	■	gevaarlijke dampen		GBr – A/Z	K	
tetra [tetrachloormethaan]	■	3,2	6,4	■	■		vergiftig	B – A	A/Z	K – D	
tindichloride (tin(II)chloride)	■	2		■	■						
tolueen [methylbenzeen]	■	150	384	■	■	■	vergiftig	A	Sp – G Br – Z	K – D	
tri [trichlooretheen]	■	54,7	164,1	■	■	■		B – Z	Z	K – D – A	Niet bij open vlam gebruiken.
waterstof						■	explosiegevaar				Explosief met zuurstof, chloor of fluor.
waterstofhalogeniden	■	2–10		■	■		bijtend				
waterstofperoxide	■	1,4		■	■	■	explosiegevaar	HZ – A	W – A/Z	K – D – A	Explosief door verhitten, licht of katalysatoren, in donker bewaren.
waterstofsulfide	■	2,3			■	■	zeer vergiftig	A/Z			
xylenen [dimethylbenzenen]	■	210	442	■	■	■		B	W – G Br – Z	K	
zilvernitraat	■	0,01		■	■	■	bijtend	HZ – A	A/Z	K – D	Geeft zwarte vlekken op de huid.
zinkchloride	■	1		■	■		bijtend	Z		A	
zoutzuur	■	8	15	■	■		bijtend	HZ – B – Z	Sp – W – Z	K – A	
zwavel	■			■	■	■	brandgevaar	A		A	
zwaveldioxide	■	1,3	2,6		■		zeer vergiftig	HZ – Z		K – D – A	
zwavelzuur	■	0,05		■	■	■	bijtend	HZ – B – Z	Z	K – D – A	Zwavelzuur kan huid, kleren e.d. doen verkolen; altijd geconcentreerd zwavelzuur voorzichtig in water gieten, niet omgekeerd.

1 ▶ TGG is tijdgewogen gemiddelde. Laat een kortdurende overschrijding toe mits deze gedurende de rest van de werkdag gecompenseerd wordt.
2 ▶ Biologische grenswaarde in mg/100 mL bloed
3 ▶ TGG 1 uur

B Gevarenklassen in GHS (globally harmonised system)

gevarenpictogram *GHS-nr.* *soort gevaar*	*klasse* *subklasse 1.1-1.6* *categorie 1-3* *type A-G*	*opmerking*
 01 – explosief; fysisch	ontplofbare stoffen 1.1-1.4	stoffen mengsels en voorwerpen van 1.1: met gevaar voor massaexplosie tot 1.4: die geen groot gevaar opleveren
	zelfontledende stoffen en mengsels A,B	van A: gevaar op ontploffing bij verwarming tot B: brand- of ontploffingsgevaar bij verwarming
	organische peroxiden A,B	
 02 – ontvlambaar; fysisch	ontvlambare gassen 1,2 aerosolen 1,2	van 1: zeer licht ontvlambaar tot 2: licht ontvlambaar
	ontvlambare vloeistoffen 1-3	van 1: laag vlampunt < 23°C tot 3: vlampunt ≤ 60 °C en
	ontvlambare vaste stoffen 1,2	van 1: beginkookpunt ≤ 35 °C tot 3: beginkookpunt ≤ 60 °C uit resultaten van de verbrandingssnelheidtest
	zelfontledende stoffen en mengsels B-F	van B: gevaar op ontploffing bij verwarming tot F: brandgevaar bij verwarming
	pyrofore vloeistoffen 1 vaste stoffen 1	ontbrandt bij blootstelling aan de lucht binnen vijf minuten
	voor zelfverhitting vatbare stoffen en mengsels 1,2	kunnen bij blootstelling aan lucht zonder toevoer van energie voor zelfverhitting zorgen
	stoffen en mengsels die in contact met water ontvlambare gassen ontwikkelen 1-3	van 1: heftige reactie; spontane ontbranding mogelijk; of grote gasontwikkeling tot 3: langzame reactie
	organische peroxiden B-F	van B: brand- of ontploffingsgevaar bij verwarming tot F: brandgevaar bij verwarming
 03 – brandbevorderend (oxiderend); fysisch	oxiderende gassen 1 vloeistoffen 1-3 vaste stoffen 1-3	van 1: kan brand of ontploffing veroorzaken of bevorderen; sterk oxiderend tot 3: kan brand bevorderen; oxiderend
 04 – houder onder druk; fysisch	gassen onder druk	samengeperst, vloeibaar gemaakt, opgelost of sterk gekoeld vloeibaar gemaakt
 05 – corrosief; fysisch/ gezondheid	bijtend voor metalen	corrosieve stoffen
	huidcorrosie en huidirritatie 1A-1C	bijtend voor de huid
	ernstig oogletsel/oogirritatie 1	ernstig oogletsel (onomkeerbaar)

vervolg ▶

gevarenpictogram GHS-nr. soort gevaar	*klasse subklasse 1.1-1.6 categorie 1-3 type A-G*	*opmerking*
06 – toxisch; gezondheid	acute toxiciteit 1-3	van 1: dodelijk tot 3: schadelijk bij inslikken/bij contact met de huid/bij inademing
07 – schadelijk; gezondheid	acute toxiciteit 4	schadelijk
	huidcorrosie en huidirritatie 2	irriterend voor de huid
	ernstig oogletsel/oogirritatie 2	ernstige oogirritatie (omkeerbaar)
	sensibilisatie van de huid 1	huidallergeen
	specifieke doelorgaantoxiciteit bij eenmalige blootstelling 3	tijdelijke effecten m.n. narcotische werking en irritatie van de luchtwegen
08 – Schadelijk voor de gezondheid op lange termijn; gezondheid	sensibilisatie van de luchtwegen 1	inhalatie allergeen
	mutageniteit in geslachtscellen 1A,1B,2	stoffen waarvan bekend is of waarvan verondersteld wordt dat ze erfelijke mutaties veroorzaken 1A: gegevens bij mensen bekend 1B: gegevens vooral van dierproeven 2: stoffen die ervan verdacht worden mutageen/ kankerverwekkend te zijn/ dat ze effecten hebben op de vruchtbaarheid of het ongeboren kind
	kankerverwekking 1A,1B,2	stoffen waarvan bekend is of waarvan verondersteld wordt dat ze kanker veroorzaken
	voortplantingstoxiciteit 1A, 1B, 2	stoffen waarvan bekend is of waarvan verondersteld wordt dat ze effecten hebben op de vruchtbaarheid of het ongeboren kind
	specifieke doelorgaantoxiciteit bij eenmalige/herhaaldelijke blootstelling 1,2	1 betrouwbare gegevens omtrent gevaar bekend bij mensen of dieren, 2 op basis van dierproefgegevens verondersteld gevaarlijk voor de mens
	aspiratiegevaar 1	kan dodelijk zijn als het bij inslikken in de luchtwegen terecht komt
09 – Milieugevaarlijk; milieu	acute toxiciteit 1 chronische toxiciteit 1-4 (3 en 4 geen pictogram)	zeer giftig voor waterorganismen 1: zeer giftig voor waterorganismen, met langdurige gevolgen 2: giftig 3: schadelijk 4: kan op lange termijn effecten hebben op waterorganismen

■ subklasse 1.1-1.6/categorie 1-3/type A-G: gerangschikt van groot tot klein gevaar

C Waarschuwingsborden


algemeen: pas op, gevaar


hoge elektrische spanning


magnetisch veld


elektromagnetisch veld


laserlicht, lasers


microgolfstraling


ioniserende straling



asbestgevaar



aarding


hete dampen


biologisch gevaar


niet met water blussen

D Recycleersymbolen



01	PET/PETE	polyethyleentereftalaat	polyestervezels, folie, frisdrankflessen
02	PE-HD	hoge-dichtheid-polyetheen	plastic flessen, zakken en buizen, vuilnisemmers, kunsthout
03	PVC	polyvinylchloride	kozijnen, buizen, flessen (voor chemicaliën, lijm, …)
04	PE-LD	lage-dichtheid-polyetheen	plastic zakken, emmers, dispenserflessen voor zeep, slangetjes
05	PP	polypropeen	bumpers, interieurpanelen e.d. voor auto's, industriële vezels
06	PS	polystyreen	speelgoed, bloempotten, videocassettes, asbakken, koffers, schuim
07	other	andere kunststoffen, zoals PMMA (o.a. perspex), polycarbonaat, polyamide (o.a. nylon), ABS	
20	PAP	golfkarton	verpakkingen
21	PAP	overig karton	verpakkingen
22	PAP	papier	kranten, tijdschriften, etc.
40	FE	staal	
41	ALU	aluminium	
50	FOR	hout	
51	FOR	kurk	
60	TEX	katoen	
61	TEX	jute	
70	GL	kleurloos glas	
71	GL	groen glas	
72	GL	bruin glas	

gevarenaanduidingen voor materiële gevaren

code	*van toepassing op*	*tekst*
H200	Ontplofbare stoffen, instabiel	"Instabiele ontplofbare stof."
H204	Ontplofbare stoffen, subklasse 1.4	"Gevaar voor brand of scherfwerking."
H220	Ontvlambare gassen, gevarencategorie 1,2	"Zeer licht ontvlambaar gas."
H221	Ontvlambare gassen, gevarencategorie 2	"Ontvlambaar gas."
H224	Ontvlambare vloeistoffen, gevarencategorie 1	"Zeer licht ontvlambare vloeistof en damp."
H225	Ontvlambare vloeistoffen, gevarencategorie 2	"Licht ontvlambare vloeistof en damp."
H240	Zelfontledende stoffen en mengsels/organische peroxiden, type A	"Ontploffingsgevaar bij verwarming."
H241	Zelfontledende stoffen en mengsels/organische peroxiden, type B	"Brand- of ontploffingsgevaar bij verwarming."
H250	Pyrofore vloeistoffen/vaste stoffen, gevarencategorie 1	"Vat spontaan vlam bij blootstelling aan lucht."
H251	Voor zelfverhitting vatbare stoffen en mengsels, gevarencategorie 1	"Vatbaar voor zelfverhitting: kan vlam vatten."
H260	Stoffen en mengsels die in contact met water ontvlambare gassen ontwikkelen, gevarencategorie 1	"In contact met water komen ontvlambare gassen vrij die spontaan kunnen ontbranden."
H270	Oxiderende gassen, gevarencategorie 1	"Kan brand veroorzaken of bevorderen; oxiderend."
H271	Oxiderende vloeistoffen/vaste stoffen, gevarencategorie 1	"Kan brand of ontploffingen veroorzaken; sterk oxiderend."
H280	Gassen onder druk: samengeperst gas; vloeibaar gas; opgelost gas	"Bevat gas onder druk; kan ontploffen bij verwarming."
H281	Gassen onder druk: sterk gekoeld vloeibaar gas	"Bevat sterk gekoeld gas; kan cryogene brandwonden of letsel veroorzaken."
H290	Bijtend voor metalen, gevarencategorie 1	"Kan bijtend zijn voor metalen."

gevarenaanduidingen voor gezondheidsgevaren

code	*van toepassing op*	*tekst*
H300	Acute orale toxiciteit, gevarencategorie 1 en 2	"Dodelijk bij inslikken."
H301	Acute orale toxiciteit, gevarencategorie 3	"Giftig bij inslikken."
H302	Acute orale toxiciteit, gevarencategorie 4	"Schadelijk bij inslikken."
H304	Aspiratiegevaar, gevarencategorie 1	"Kan dodelijk zijn als de stof bij inslikken in de luchtwegen terechtkomt."
H310	Acute dermale toxiciteit, gevarencategorie 1 en 2	"Dodelijk bij contact met de huid."
H311	Acute dermale toxiciteit, gevarencategorie 3	"Giftig bij contact met de huid."
H312	Acute dermale toxiciteit, gevarencategorie 4	"Schadelijk bij contact met de huid."
H314	Huidcorrosie/-irritatie, gevarencategorie 1A, 1B en 1C	"Veroorzaakt ernstige brandwonden."
H315	Huidcorrosie/-irritatie, gevarencategorie 2	"Veroorzaakt huidirritatie."
H317	Huidsensibilisatie, gevarencategorie 1	"Kan een allergische huidreactie veroorzaken."
H318	Ernstig oogletsel/oogirritatie, gevarencategorie 1	"Veroorzaakt ernstig oogletsel."
H319	Ernstig oogletsel/oogirritatie, gevarencategorie 2A	"Veroorzaakt ernstige oogirritatie."
H330	Acute toxiciteit bij inademing, gevarencategorie 1 en 2	"Dodelijk bij inademing."
H331	Acute toxiciteit bij inademing, gevarencategorie 3	"Giftig bij inademing."
H332	Acute toxiciteit bij inademing, gevarencategorie 4	"Schadelijk bij inademing."
H334	Sensibilisatie van de luchtwegen, gevarencategorie 1	"Kan bij inademing allergie- of astmasymptomen of ademhalingsmoeilijkheden veroorzaken."
H335	Specifieke doelorgaantoxiciteit bij eenmalige blootstelling, gevarencategorie 3, irritatie van de luchtwegen	"Kan irritatie van de luchtwegen veroorzaken."
H336	Specifieke doelorgaantoxiciteit bij eenmalige blootstelling, gevarencategorie 3, narcotische werking	"Kan slaperigheid of duizeligheid veroorzaken."

vervolg ▶

code	*van toepassing op*	*tekst*
H340	Mutageniteit in geslachtscellen, gevarencategorie 1A en 1B	"Kan genetische schade veroorzaken <*blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is*>."
H350	Kankerverwekkendheid, gevarencategorie 1A en 1B	"Kan kanker veroorzaken <*blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is*>."
H351	Kankerverwekkendheid, gevarencategorie 2	"Verdacht van het veroorzaken van kanker <*blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is*>."
H360	Voortplantingstoxiciteit, gevarencategorie 1A en 1B	"Kan de vruchtbaarheid of het ongeboren kind schaden <*specifiek effect vermelden indien bekend*><*blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is*>."
H362	Voortplantingstoxiciteit, aanvullende categorie, effecten op en via lactatie	"Kan schadelijk zijn via de borstvoeding."
H370	Specifieke doelorgaantoxiciteit bij eenmalige blootstelling, gevarencategorie 1	"Veroorzaakt schade aan organen <*of alle betrokken organen vermelden indien bekend*> <*blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is*>."
H372	Specifieke doelorgaantoxiciteit bij herhaalde blootstelling, gevarencategorie 1	"Veroorzaakt schade aan organen <*of alle betrokken organen vermelden indien bekend*> bij langdurige of herhaalde blootstelling <*blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is*>."

gevarenaanduidingen voor milieugevaren

code	*van toepassing op*	*tekst*
H400	Acuut gevaar voor het aquatisch milieu, gevarencategorie 1	"Zeer giftig voor in het water levende organismen."
H410	Chronisch gevaar voor het aquatisch milieu, gevarencategorie 1	"Zeer giftig voor in het water levende organismen, met langdurige gevolgen."
H413	Chronisch gevaar voor het aquatisch milieu, gevarencategorie 4	"Kan langdurige schadelijke gevolgen voor in het water levende organismen hebben."
H420	Gevaarlijk voor de ozonlaag, gevarencategorie 1	"Schadelijk voor de volksgezondheid en het milieu door afbraak van ozon in de bovenste lagen van de atmosfeer."

aanvullende gevareninformatie (EUH-zinnen)

	Materiële eigenschappen		*gezondheidseigenschappen*
code	*tekst*	*code*	*tekst*
EUH001	"In droge toestand ontplofbaar."	EUH029	"Vormt giftig gas in contact met water."
EUH006	"Ontplofbaar met en zonder lucht."	EUH032	"Vormt zeer giftig gas in contact met zuren."
EUH014	"Reageert heftig met water."	EUH066	"Herhaalde blootstelling kan een droge of een gebarsten huid veroorzaken."
EUH018	"Kan bij gebruik een ontvlambaar/ontplofbaar damp-luchtmengsel vormen."	EUH070	"Giftig bij oogcontact."
EUH019	"Kan ontplofbare peroxiden vormen."	EUH071	"Bijtend voor de luchtwegen."
EUH044	"Ontploffingsgevaar bij verwarming in afgesloten toestand."		

vervolg

aanvullende etiketteringselementen/informatie over bepaalde stoffen of mengsels

code	*tekst*
EUH201	"Bevat lood. Mag niet worden gebruikt voor voorwerpen waarin kinderen kunnen bijten of waaraan kinderen kunnen zuigen."
EUH204	"Bevat isocyanaten. Kan een allergische reactie veroorzaken."
EUH205	"Bevat epoxyverbindingen. Kan een allergische reactie veroorzaken."
EUH206	"Let op! Niet in combinatie met andere producten gebruiken. Er kunnen gevaarlijke gassen (chloor) vrijkomen."
EUH208	"Bevat <*naam van de sensibiliserende stof*>. Kan een allergische reactie veroorzaken."
EUH209	"Kan bij gebruik licht ontvlambaar worden."
EUH210	"Veiligheidsinformatieblad op verzoek verkrijgbaar."
EUH401	"Volg de gebruiksaanwijzing om gevaar voor de menselijke gezondheid en het milieu te voorkomen."

lijst van voorzorgsmaatregelen (P-zinnen)
algemeen

Code	*tekst*
P101	"Bij het inwinnen van medisch advies, de verpakking of het etiket ter beschikking houden."
P102	"Buiten het bereik van kinderen houden."
P103	"Alvorens te gebruiken, het etiket lezen."

voorzorgsmaatregelen in verband met preventie

code	*tekst*
P201	"Alvorens te gebruiken de speciale aanwijzingen raadplegen."
P210	"Verwijderd houden van warmte/vonken/open vuur/hete oppervlakken. - Niet roken."
P220	"Van kleding/.../brandbare stoffen verwijderd houden/bewaren."
P221	"Vermenging met brandbare stoffen... absoluut vermijden."
P222	"Contact met de lucht vermijden."
P223	"Contact met water vermijden in verband met een heftige reactie en een mogelijke wolkbrand."
P230	"Vochtig houden met..."
P231	"Onder inert gas werken."
P232	"Tegen vocht beschermen."
P233	"In goed gesloten verpakking bewaren."
P235	"Koel bewaren."
P243	"Voorzorgsmaatregelen treffen tegen ontladingen van statische elektriciteit."
P244	"Reduceerventielen vrij van olie en vet houden."
P250	"Malen/schokken/...wrijving vermijden."
P251	"Houder onder druk: ook na gebruik niet doorboren of verbranden."
P260	"Stof/rook/gas/nevel/damp/spuitnevel niet inademen."
P262	"Contact met de ogen, de huid of de kleding vermijden."
P263	"Bij zwangerschap of borstvoeding aanraking vermijden."
P270	"Niet eten, drinken of roken tijdens het gebruik van dit product."
P271	"Alleen buiten of in een goed geventileerde ruimte gebruiken."
P273	"Voorkom lozing in het milieu."
P280	"Beschermende handschoenen/beschermende kleding/oogbescherming/gelaatsbescherming dragen."
P284	"Adembescherming dragen."

vervolg ▶

voorzorgsmaatregelen in verband met reactie

code	*tekst*
P301	"NA INSLIKKEN: …"
P303	"BIJ CONTACT MET DE HUID (of het haar): …"
P304	"NA INADEMING: …"
P305	"BIJ CONTACT MET DE OGEN: …"
P306	"NA MORSEN OP KLEDING: …"
P309	"NA blootstelling of bij onwel voelen: …"
P310	"Onmiddellijk een ANTIGIFCENTRUM of een arts raadplegen."
P320	"Specifieke behandeling dringend vereist (zie … op dit etiket)."
P330	"De mond spoelen."
P331	"GEEN braken opwekken."
P333	"Bij huidirritatie of uitslag: …"
P334	"In koud water onderdompelen/nat verband aanbrengen."
P335	"Losse deeltjes van de huid afvegen."
P336	"Bevroren lichaamsdelen met lauw water ontdooien. Niet wrijven op de betrokken plaatsen."
P337	"Bij aanhoudende oogirritatie: …"
P338	"Contactlenzen verwijderen, indien mogelijk. Blijven spoelen."
P341	"Bij ademhalingsmoeilijkheden het slachtoffer in de frisse lucht brengen en laten rusten in een houding die het ademen vergemakkelijkt."
P350	"Voorzichtig wassen met veel water en zeep."
P351	"Voorzichtig afspoelen met water gedurende een aantal minuten."
P360	"Verontreinigde kleding en huid onmiddellijk met veel water afspoelen en pas daarna kleding uittrekken."
P372	"Ontploffingsgevaar in geval van brand."
P373	"NIET blussen wanneer het vuur de ontplofbare stoffen bereikt."
P374	"Met normale voorzorgen vanaf een redelijke afstand blussen."
P377	"Brand door lekkend gas: niet blussen, tenzij het lek veilig gedicht kan worden."
P380	"Evacueren."
P381	"Alle ontstekingsbronnen wegnemen als dat veilig gedaan kan worden."
P391	"Gelekte/gemorste stof opruimen."
P302+P334	"BIJ CONTACT MET DE HUID: in koud water onderdompelen/nat verband aanbrengen."
P303+P361+ P353	"BIJ CONTACT MET DE HUID (of het haar): verontreinigde kleding onmiddellijk uittrekken - huid met water afspoelen/afdouchen."
P304+P340	"NA INADEMING: het slachtoffer in de frisse lucht brengen en laten rusten in een houding die het ademen vergemakkelijkt."
P308+P313	"NA (mogelijke) blootstelling: een arts raadplegen."
P309+P311	"NA blootstelling of bij onwel voelen: een ANTIGIFCENTRUM of een arts raadplegen."
P337+P313	"Bij aanhoudende oogirritatie: een arts raadplegen."
P342+P311	"Bij ademhalingssymptomen: een ANTIGIFCENTRUM of een arts raadplegen."
P370+P376	"In geval van brand: het lek dichten als dat veilig gedaan kan worden."

voorzorgsmaatregelen in verband met opslag

code	*tekst*
P402	"Op een droge plaats bewaren."
P403	"Op een goed geventileerde plaats bewaren."
P404	"In gesloten verpakking bewaren."
P406	"In corrosiebestendige/… houder met corrosiebestendige binnenbekleding bewaren."
P407	"Ruimte laten tussen stapels/pallets."
P410	"Tegen zonlicht beschermen."
P411	"Bij maximaal … °C/… °F bewaren."
P412	"Niet blootstellen aan temperaturen boven 50 °C/122 °F."
P413	"Bulkmateriaal, indien meer dan … kg/… lbs, bij temperaturen van maximaal …°C/… °F bewaren."
P420	"Gescheiden van ander materiaal bewaren."
P422	"Onder … bewaren."

uitgangspunten in de groene chemie

1. preventie
Vorming van afval moet zoveel mogelijk worden voorkomen.

2. atoomeconomie
Het eindproduct bevat zoveel mogelijk atomen van de in het proces gebruikte stoffen. De grondstoffen moeten dus zo efficiënt mogelijk gebruikt worden.

3. minder schadelijke chemische productiemethoden
Productiemethoden moeten dusdanig ontworpen worden dat ze de mens en het milieu zo weinig mogelijk schaden.

4. ontwikkelen van minder schadelijke chemische stoffen
Bij de ontwikkeling van producten moet erop gelet worden dat ze doen wat ze moeten doen, met zo weinig mogelijk schade aan mens en milieu.

5. veiliger oplosmiddelen
Tijdens de productie moet het gebruik van oplosmiddelen zo veel mogelijk vermeden worden.

6. energie-efficiënt ontwerpen
De energie die nodig is om een reactie uit te voeren moet verlaagd worden; dit met het oog op vermindering van kosten en van milieuschade. Zo mogelijk dienen processen te worden uitgevoerd bij relatief lage temperaturen en lage drukken (liefst bij normale druk). De energie die ontstaat bij een proces moet zo mogelijk hergebruikt worden.

7. gebruik van hernieuwbare grondstoffen
Grondstoffen moeten zo veel mogelijk hernieuwbaar zijn.

8. reacties in weinig stappen
Reacties in veel stappen moeten vermeden worden omdat dit betekent dat er meer uitgangsstoffen nodig zijn en er meer vervuiling ontstaat.

9. katalyse
Reacties met gebruik van een katalysator zijn efficiënter dan reacties zonder gebruik van een katalysator.

10. ontwerpen met het oog op afbraak
Er moeten chemische producten ontworpen worden, waaruit bij afbraak stoffen ontstaan die niet giftig zijn en niet ophopen in het milieu.

11. tussentijdse analyse met het oog op preventie van milieuverontreiniging
Door gebruik van analysemethoden moet ervoor gezorgd worden dat milieuverontreinigende (bij)producten worden ontdekt zodra ze vrijkomen.

12. minder risicovolle chemie
Stoffen in een chemisch proces moeten dusdanig gekozen worden dat het risico van chemische ongelukken zo klein mogelijk is. Er moet werk gemaakt worden van preventie op het gebied van brand en explosie.

begrippen in de groene chemie

begrip	*omschrijving*
atoomeconomie	De theoretisch berekende, totale massa van de atomen in het gewenste product volgens de reactievergelijking, gedeeld door de totale massa van de atomen van de beginstoffen en vermenigvuldigd met 100%.
E-factor	De massa van alle reactanten minus de massa van het gewenste product, gedeeld door de massa van het gewenste product, rekening houdend met het rendement. Zie tabel 37H.
vervuilingscoëfficiënt Q	Een arbitraire waarde van een stof, waarin wordt aangegeven in welke mate een stof vervuilend/gevaarlijk is. (vb. water: $Q = 0$, niet schadelijke zouten zoals NaCl: $Q = 1$, giftige producten: $Q = 100 - 1000$)
praktische opbrengst	De hoeveelheid stof die in de praktijk gevormd wordt.
theoretische opbrengst	De hoeveelheid stof die theoretisch gevormd kan worden, gebruikmakend van een stoichiometrische reactievergelijking.
rendement	De praktische hoeveelheid product gedeeld door de theoretisch maximale hoeveelheid. Dit quotiënt vermenigvuldigd met 100% geeft het rendement.

H																		He
Li	Be													B	C	N	O	Ne
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl
K	Ca	Sc		Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y		Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	1	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	2	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

1	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

- geen (betrouwbare) data/geen natuurlijk voorkomende metalen
- ruim voorradig
- gelimiteerde beschikbaarheid, kans op schaarste in toekomst
- stijgend risico op tekorten door toenemend gebruik
- significant risico op ernstige tekorten in de komende 100 jaar

■ De schaarste van elementen in de toekomst is een ruwe schatting voor de beschikbaarheid. Er zijn veel onzekerheden over toekomstig gebruik van elementen, maar ook in de winbaarheid en leveringszekerheid. In deze tabel is de grootste gemene deler van verschillende bronnen weergegeven

Li	Be																	
Na	Mg												Al					
K	Ca	Sc		Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga					
Rb	Sr	Y		Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn				
Cs	Ba	La	1	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi			
Fr	Ra	Ac	2	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	

1	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

- geen (betrouwbare) data/geen natuurlijk voorkomende metalen
- > 50%
- 25-50%
- 10-25%
- 1-10%
- < 1%

■ Percentages voor wereldwijde gemiddelden voor de functionele recycling. Functionele recycling is recycling van de fysische en chemische eigenschappen die een materiaal gewild maken voor gebruik.

D Impact productie metalen op klimaatverandering

Li 7,1	Be 122																	
Na	Mg 5,4													Al 8,2				
K	Ca 1,0	Sc ►3		Ti 8,1	V 33	Cr 2,4	Mn 1,0	Fe 1,5	Co 8,3	Ni 6,5	Cu 2,8	Zn 3,1	Ga 205					
Rb	Sr 3,2	Y 15		Zr 1,1	Nb 12,5	Mo 5,7	Tc	Ru ►7	Rh ►1	Pd ►6	Ag 196	Cd 3,0	In 102	Sn 17				
Cs	Ba 0,2	La 11	1	Hf 131	Ta 260	W 13	Re 450	Os ►5	Ir ►4	Pt ►2	Au ►2	Hg 12	Tl 376	Pb 1,3	Bi 59			
Fr	Ra	Ac	2	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	

1	Ce 13	Pr 19	Nd 18	Pm	Sm 59	Eu 395	Gd 47	Tb 297	Dy 60	Ho 226	Er 49	Tm 649	Yb 125	Lu 896
2	Th 75	Pa	U 91	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

- geen (betrouwbare) data/geen natuurlijk voorkomende metalen
- < 5 kg CO_2-eq kg^{-1}
- 5-30 kg CO_2-eq kg^{-1}
- 30-100 kg CO_2-eq kg^{-1}
- 100-1000 kg CO_2-eq kg^{-1}
- 1000-5000 kg CO_2-eq kg^{-1}
- 5000-15000 kg CO_2-eq kg^{-1}
- > 15000 kg CO_2-eq kg^{-1}

1 ►35 100 kg CO_2-eq kg^{-1}
2 ► 12 500 kg CO_2-eq kg^{-1}
3 ►5710 kg CO_2-eq kg^{-1}
4 ►8860 kg CO_2-eq kg^{-1}
5 ►4560 kg CO_2-eq kg^{-1}
6 ►3880 kg CO_2-eq kg^{-1}
7 ►2110 kg CO_2-eq kg^{-1}

■ Data afgeleid uit een metastudie naar de LCA van metalen. De impact is weergegeven in kg CO_2-equivalenten per kg productie.

Li	Be																	
Na	Mg													Al				
K	Ca	Sc		Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga					
Rb	Sr	Y		Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn				
Cs	Ba	La	1	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi			
Fr	Ra	Ac	2	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	

1	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

- geen (betrouwbare) data/geen natuurlijk voorkomende metalen
- < 0,1 kg SO_2-eq kg^{-1}
- 0,1-1 kg SO_2-eq kg^{-1}
- 1-10 kg SO_2-eq kg^{-1}
- 10-100 kg SO_2-eq kg^{-1}
- 100-1000 kg SO_2-eq kg^{-1}
- > 1000 kg

■ Data afgeleid uit een metastudie naar de LCA van metalen. De impact is weergegeven in kg SO_2-equivalenten per kg productie.

F Impact productie metalen op zoetwatereutrofiëring

Li	Be																	
Na	Mg												Al					
K	Ca	Sc		Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga					
Rb	Sr	Y		Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn				
Cs	Ba	La	1	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi			
Fr	Ra	Ac	2	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	

1	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

- geen (betrouwbare) data/geen natuurlijk voorkomende metalen
- < 0,001 kg P-eq kg^{-1}
- 0,001-0,01 kg P-eq kg^{-1}
- 0,01-0,1 kg P-eq kg^{-1}
- 0,1-1 kg P-eq kg^{-1}
- 1-10 kg P-eq kg^{-1}
- 10-100 kg P-eq kg^{-1}
- > 100 kg P-eq kg^{-1}

■ Data afgeleid uit een metastudie naar de LCA van metalen. De impact is weergegeven in kg P-equivalenten per kg productie.

Li	Be																	
Na	Mg													Al				
K	Ca	Sc		Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga					
Rb	Sr	Y		Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn				
Cs	Ba	La	1	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi			
Fr	Ra	Ac	2	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	

1	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

- geen (betrouwbare) data/geen natuurlijk voorkomende metalen
- < $1 \cdot 10^{-6}$ CTUh kg^{-1}
- $1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-5}$ CTUh kg^{-1}
- $1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-4}$ CTUh kg^{-1}
- $1 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ CTUh kg^{-1}
- $1 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^{-2}$ CTUh kg^{-1}
- $1 \cdot 10^{-2}$ - $1 \cdot 10^{-1}$ CTUh kg^{-1}
- > $1 \cdot 10^{-1}$ CTUh kg^{-1}

■ Data afgeleid uit een metastudie naar de LCA van metalen. De impact is weergegeven in CTUh►[1] 1 per kg productie.

1►CTUh, Comparative Toxic Unit (human toxicity potential) = aantal ziektegevallen (kanker en niet-kanker) per gegeven eenheid.

materiaal	*GWP*▸1 kg CO_2-eq kg^{-1}	*ODP*▸2 µg R11-eq kg^{-1}	*EP*▸3 g PO_4^{3-}-eq kg^{-1}	*AP*▸4 g SO_2- eq kg^{-1}
aarden wal (van aangestapte aarde)	0,0047	$1,7 \cdot 10^{-9}$	0,0037	0,016
afvoerbuis, PVC	3,1	45	1,1	9,2
baksteen, gerecycled	0,00270	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,014	0,062
baksteen, rood dubbelgebakken	0,50	0,51	0,22	1,1
baksteen, rood enkelgebakken	0,31	0,51	0,21	1,0
beton, sterkteklasse C20/25	0,10	1,2	0,052	0,17
beton, sterkteklasse C30/37	0,13	1,5	0,063	0,20
bitumen dakleer	0,41	$4,3 \cdot 10^{-6}$	0,13	1,3
cellenbetonblok, P4 0,50	0,53	$4,2 \cdot 10^{-6}$	0,075	0,45
cement, Portland	0,80	0,18		
cementgebonden spaanplaat	1,4	$1,3 \cdot 10^{-5}$	0,22	1,4
constructiestaal, hol	2,5	$3,8 \cdot 10^{-3}$	0,537	5,59
constructiestaal, U/H-balk	1,1	$2,0 \cdot 10^{-3}$	0,219	2,26
dakgoot, aluminium	3,4	$1,1 \cdot 10^{2}$	1,8	19
dakgoot, polyetheen	2,4	31	0,68	8,6
dakgoot, PVC	3,2	48	1,2	9,7
dakgoot, verzinkt staal	2,6	20	0,63	6,8
dakpan, beton	0,30	0,21	0,063	0,99
dakpan, keramisch geglazuurd	0,39	35	0,13	0,97
dakpaneel, gecoat staal	2,7	$7,7 \cdot 10^{-2}$	0,68	6,2
daktegel, natuursteen	0,93	76	0,69	4,7
daktegel, rubber (90% gerecyclede banden)	3,1	35	1,1	1,2
dampremmende folie (PE)	2,0	$1,9 \cdot 10^{-5}$	0,61	26
draai-/kiepraam 1,23x1,48m aluminium kozijn met triple glas	5,7	$4,7 \cdot 10^{2}$	1,5	20
draai-/kiepraam 1,23x1,48m kunststof kozijn met dubbel glas	3,9	$1,7 \cdot 10^{2}$	1,2	4,4
EPDM folie	4,3	$2,6 \cdot 10^{-5}$	0,60	4,1
Foamglas (cellulair glas)	1,5	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,39	3,2
gasbetonblokken	0,24	$2,5 \cdot 10^{-3}$	0,037	0,34
gipsplaat	0,21	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,084	0,36
gipsvezelplaat (papier)	0,077	$2,0 \cdot 10^{-3}$	0,020	0,12
glaspaneel, dubbel glas	1,8	$9,1 \cdot 10^{-6}$	1,4	7,1
glaspaneel, triple glas	1,9	$1,1 \cdot 10^{-5}$	1,5	7,5
glaswol	1,3	68	4,8	26
Glulam (lijmhout)	-1,2	28	0,36	1,1
hennepisolatie (met 15% polyester)	0,50	$4,3 \cdot 10^{-5}$	1,8	3,4
hout, constructie/bouw	-1,5	20	0,13	0,53
hout, eiken	-1,5	$4,9 \cdot 10^{-6}$	0,12	0,50
hout, geïmpregneerd naaldhout	-1,2	45	0,65	2,1
hout, naaldboom	-1,7	$2,2 \cdot 10^{-5}$	0,041	0,17
houtvezel isolatieplaat (droog proces)	-1,1	5,0	0,44	1,9
houtvezel isolatieplaat (nat process)	-1,1	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,15	0,77
kalkzandsteen	0,14	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,017	0,089
kleisteen, ongebakken	0,039	$1,8 \cdot 10^{-7}$	0,0040	0,023
kozijn 3,3x1,50 m, Afrikaans hardhout	1,0	87	0,83	4,2
kozijn 3,3x1,50 m, Europees zachthout	0,97	62	0,55	2,6
kozijn 3,3x1,50 m, meranti	1,2	79	1,3	8,1
kruislaaghout	-1,4	9,0	0,47	0,70
leiding, koper	1,8	$1,5 \cdot 10^{2}$	37	48
leiding, polybuteen voor vloerverwarming	4,2	1,9	1,1	21
leisteen	0,50	$7,4 \cdot 10^{-6}$	0,67	2,9

vervolg ▸

materiaal	*GWP* [1]	*ODP* [2]	*EP* [3]	*AP* [4]
	kg CO_2-eq kg^{-1}	µg R11-eq kg^{-1}	g PO_4^{3-}-eq kg^{-1}	g SO_2- eq kg^{-1}
lichtgewicht beton, elementen	0,23	0,14	0,045	0,33
Marmoleum (2 mm dik)	0,070	4,5	2,4	10
mdf	-0,93	$8{,}1 \cdot 10^{-3}$	0,67	1,8
metselspecie	0,29	11	0,11	0,85
multiplex	-1,4	11	0,17	1,5
muurverf	2,0	$2{,}3 \cdot 10^{2}$	1,8	14
onderdakfolie (PP)	2,7	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$	0,85	4,9
papierwol (cellulose-isolatie)	0,15	13	0,54	0,96
parketvloer, 14 mm	-0,95	84	0,84	3,2
perliet isolatiekorrels	0,52	$1{,}2 \cdot 10^{-6}$	0,099	0,53
piepschuim/EPS (expanded polystyrene)	4,9	$1{,}2 \cdot 10^{2}$	1,5	17
PIR isolatie	3,1	$5{,}3 \cdot 10^{3}$	0,88	5,8
plaat, aluminium	11	$4{,}4 \cdot 10^{-5}$	2,4	32
plaat, koper	1,5	$2{,}3 \cdot 10^{-3}$	0,38	3,8
pleisterwerk, kalkstuc	0,96	50	0,12	0,89
pleisterwerk, leemstuc	0,034	3,9	0,027	0,22
polyurethaanschuim isolatie (PUR)	3,7	$5{,}9 \cdot 10^{3}$	1,24	7,7
schuimbetonblokken	0,48	$6{,}8 \cdot 10^{-3}$	0,075	0,58
steenstrip	0,29	$1{,}7 \cdot 10^{-6}$	0,047	0,25
steenwol	1,5	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$	0,98	6,9
stro	-1,3	3,2	1,0	0,93
tegels, geglazuurd steen	0,31	$2{,}5 \cdot 10^{-6}$	0,060	0,31
tegels, keramisch geglazuurd	0,49	60	0,44	3,7
vezelcementplaten (gevelbedekking)	0,54	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$	0,16	1,1
vloer, PVC	2,5	0,21	0,64	3,4
vloer, rubber	2,3	$2{,}7 \cdot 10^{-3}$	2,8	14
xps-isolatie (extruded polystyrene)	10	$1{,}8 \cdot 10^{4}$	1,8	17

1 ► GWP = Global Warming Potential (mogelijke bijdrage aan de opwarming van de aarde)
2 ► ODP = Ozone Depletion Potential (mogelijke bijdrage aan verdwijnen van de ozonlaag)
3 ► EP = Eutrophication Potential (mogelijke bijdrage aan eutrofiëring)
4 ► AP = Acidification Potential (mogelijke bijdrage aan verzuring)

■ De gegeven impactwaardes zijn die van ‘cradle to gate’.

A

B

H

I

J

K

L

M

N

O

P

T

U

V

in g mol^{-1}

$AgBr$	187,77
Ag_2CO_3	275,75
$AgCl$	143,32
AgI	234,77
$AgNO_3$	169,87
Ag_2O	231,74
Ag_3PO_4	418,58
Ag_2S	247,80
$AlCl_3$	133,34
$Al(NO_3)_3$	213,00
Al_2O_3	101,96
$Al(OH)_3$	78,004
$Al_2(SO_4)_3$	342,15
$BaCO_3$	197,34
$BaCl_2$	208,23
$Ba(NO_3)_2$	261,34
BaO	153,33
$Ba(OH)_2$	171,34
$BaSO_4$	233,39
C_6H_6	78,114
$C_6H_{12}O_6$	180,16
$C_{12}H_{22}O_{11}$	342,30
CaC_2	64,100
CaC_2O_4	128,10
$CaCO_3$	100,09
$CaCl_2$	110,98
CaF_2	78,075
CaO	56,077
$Ca(OH)_2$	74,093
$Ca_3(PO_4)_2$	310,18
$Ca_5(PO_4)_3F$	504,30
$CaSO_4$	136,14
CH_3COOH	60,053
CH_4	16,043
CH_3OH	32,042
CH_3CH_2OH	46,069
CH_3COCH_3	58,080
CH_3COONa	82,034
CO	28,010
CO_2	44,010
$CoCl_2$	129,84
CS_2	76,141
$CuCl_2$	134,45
$Cu(NO_3)_2$	187,56
CuO	79,545
CuS	95,611
$CuSO_4$	159,61
FeC_2O_4	143,86
$FeCl_2$	126,75
$FeCl_3$	162,20
FeO	71,844
Fe_2O_3	159,69
Fe_3O_4	231,53
$Fe(OH)_2$	89,860
$Fe(OH)_3$	106,87
$FePO_4$	150,82
FeS	87,910
FeS_2	119,98
$FeSO_4$	151,91
$Fe_2(SO_4)_3$	399,88
HBr	80,912
$H_2C_2O_4$	90,036
HCl	36,461
HF	20,006
HI	127,91
HNO_3	63,013
H_2O	18,015
H_2O_2	34,015
H_3PO_4	97,995
H_2S	34,081
H_2SO_4	98,079
$HgCl_2$	271,50
HgI_2	454,40
$Hg(NO_3)_2$	324,60
HgO	216,59
HgS	232,66
KBr	119,00
KCN	65,116
K_2CO_3	138,21
$KAl(SO_4)_2$	258,21
$KC_2H_3O_2$	98,143
KCl	74,551
$KClO_3$	122,55
$K_2Cr_2O_7$	294,18
KF	58,097
$K_3Fe(CN)_6$	329,25
$K_4Fe(CN)_6$	368,34
$KHCO_3$	100,12
KHC_2O_4	128,13
$KHSO_4$	136,17
KI	166,00
KIO_3	214,00
$KMnO_4$	158,03
KNO_2	85,104
KNO_3	101,10
K_2O	94,196
KOH	56,106
$KSCN$	97,181
K_2SO_3	158,26
K_2SO_4	174,26
$MgCl_2$	95,211
MgN_3	66,325
MgO	40,305
$Mg(OH)_2$	58,320
$MgSO_4$	120,37
MnO	70,937
MnO_2	86,937
Mn_2O_3	157,87
Mn_3O_4	228,81
$MnSO_4$	151,00
NH_3	17,031
NH_4Br	97,943
$(NH_4)_2CO_3$	96,086
NH_4Cl	53,491
NH_4NO_3	80,043
$(NH_4)_2S$	68,142
$(NH_4)_2SO_4$	132,14
N_2O	44,013
NO	30,006
NO_2	46,006
$NaBr$	102,89
Na_2CO_3	105,99
$Na_2C_2O_4$	134,00
$NaCl$	58,443
$NaClO_3$	106,44
NaF	41,988
$NaHCO_3$	84,007
$NaH_3C_2O_2$	82,034
$NaHSO_3$	104,06
$NaHSO_4$	120,06
NaI	149,89
$NaNO_2$	68,995
$NaNO_3$	84,995
Na_2O	61,979
$NaOH$	39,997
Na_3PO_4	163,94
Na_2S	78,045
Na_2SO_3	126,04
Na_2SO_4	142,04
$Na_2S_2O_3$	158,11
PCl_3	137,33
PCl_5	208,23
P_2O_3	109,95
P_2O_5	141,94
$PbCO_3$	267,2
$PbCl_2$	278,1
$PbCrO_4$	323,2
PbI_2	461,0
$Pb(NO_3)_2$	331,2
PbO	223,2
PbO_2	239,2
Pb_3O_4	685,6
PbS	239,3
$PbSO_4$	303,3
SO_2	64,064
SO_3	80,063
$SnCl_2$	189,62
$SnCl_4$	260,52
SnI_2	372,52
SnO	134,71
SnS	150,78
$ZnCO_3$	125,39
$ZnCl_2$	136,29
ZnO	81,38
ZnS	97,45
$ZnSO_4$	161,44

Periodiek systeem der elementen (met relatieve atoommassa's en elektronenconfiguraties)

periode \ groep	1	2	3		4	5	6	7	8
1	1,008 +1 −1 1 H waterstof 1								
2	6,941 +1 3 Li lithium 2,1	9,012 +2 4 Be beryllium 2,2							
3	22,99 +1 11 Na natrium 2,8,1	24,31 +2 12 Mg magnesium 2,8,2							
4	39,10 +1 19 K kalium 2,8,8,1	40,08 +2 20 Ca calcium 8,2	44,96 +3 21 Sc scandium 9,2		47,87 +2 +3 +4 22 Ti titaan 10,2	50,94 +2 +3 +4 +5 23 V vanadium 11,2	52,00 +2 +3 +6 24 Cr chroom 13,1	54,94 +2 +3 +4 +7 25 Mn mangaan 13,2	55,85 +2 +3 26 Fe ijzer 14,2
5	85,47 +1 37 Rb rubidium 2,8,18,8,1	87,62 +2 38 Sr strontium 8,2	88,91 +3 39 Y yttrium 9,2		91,22 +4 40 Zr zirkonium 10,2	92,91 +3 +5 41 Nb niobium 12,1	95,94 +6 42 Mo molybdeen 13,1	(98) +4 +6 +7 43 Tc technetium 13,2	101,1 +3 44 Ru ruthenium 15,1
6	132,9 +1 55 Cs cesium 2,8,18,18,8,1	137,3 +2 56 Ba barium 18,8,2	138,9 +3 57 La lanthaan 18,9,2	1	178,5 +4 72 Hf hafnium 32,10,2	180,9 +5 73 Ta tantaal 32,11,2	183,8 +6 74 W wolfraam 32,12,2	186,2 +4 +6 +7 75 Re renium 32,13,2	190,2 +3 +4 76 Os osmium 32,14,2
7	(223) +1 87 Fr francium 2,8,18,32,18,8,1	(226) +2 88 Ra radium 18,8,2	(227) +3 89 Ac actinium 18,9,2	2	(267) +4 104 Rf rutherfordium 32,10,2	(268) 105 Db dubnium 32,11,2	(269) 106 Sg seaborgium 32,12,2	(270) 107 Bh bohrium 32,13,2	(269) 108 Hs hassium 32,14,2

relatieve atoommassa	oxidatie getallen
atoomnummer Symbool	
naam	
elektronenconfiguratie	

1	lanthaniden 2,8,18,19,9,2	140,1 +3 +4 58 Ce cerium	140,9 +3 59 Pr praseodymium 21,8,2	144,2 +3 60 Nd neodymium 22,8,2	(145) +3 61 Pm promethium 23,8,2
2	actiniden 2,8,18,32,18,10,2	232,0 +4 90 Th thorium	(231) +5 +4 91 Pa protactinium 20,9,2	238,0 +3 +4 +5 +6 92 U uraan 21,9,2	(237) +3 +4 +5 +6 93 Np neptunium 22,9,2

- metaal
- metalloïde
- niet-metaal

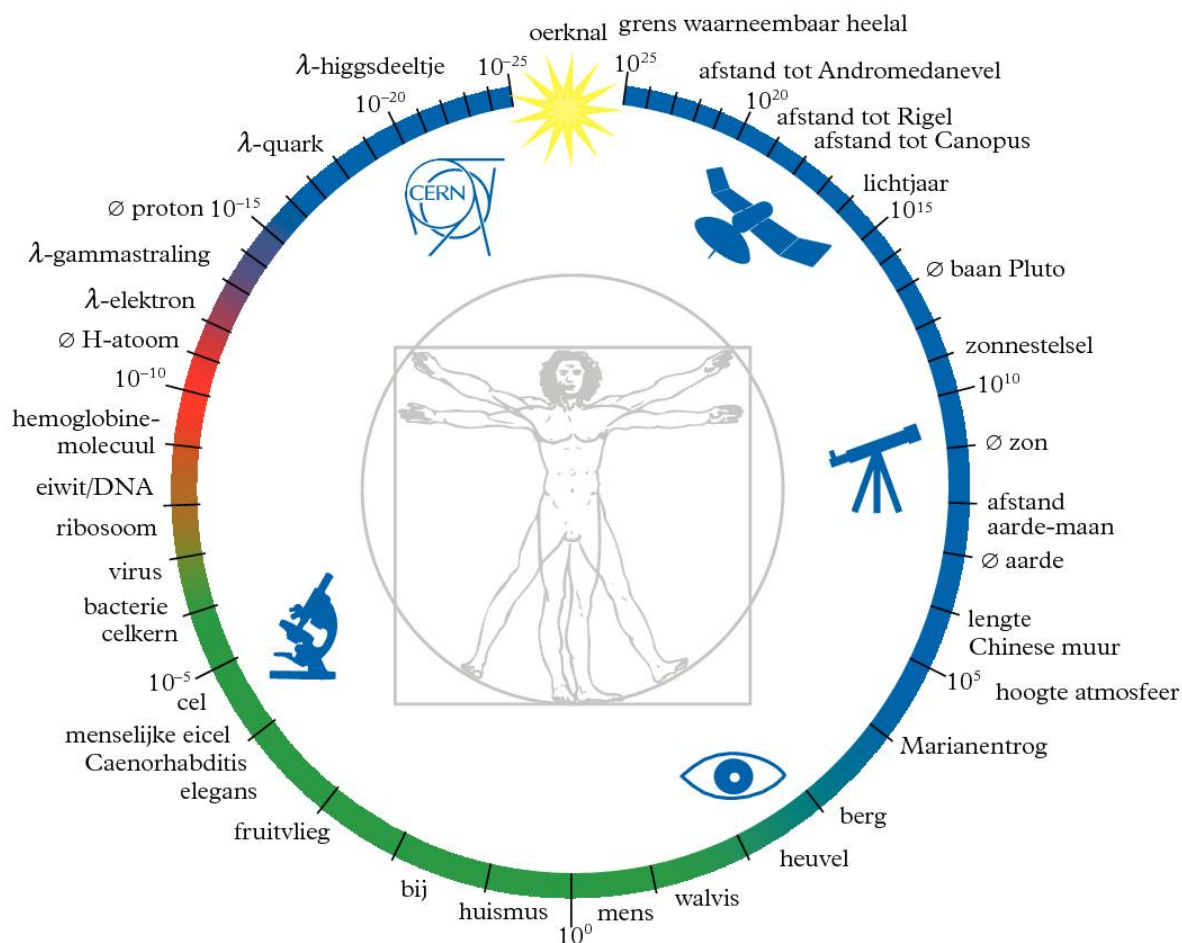
■ De relatieve atoommassa's zijn afgerond.

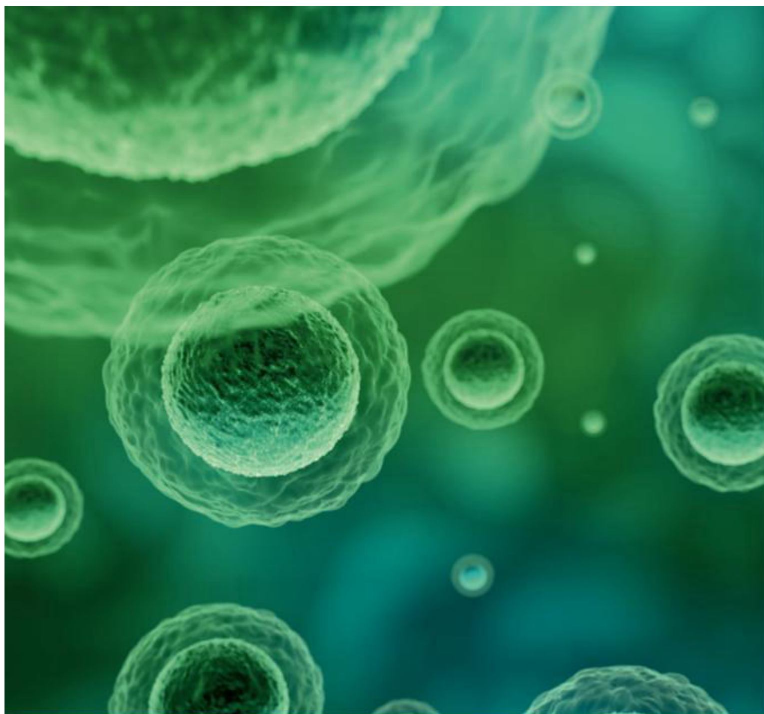
■ Isotopen: zie tabel 25.

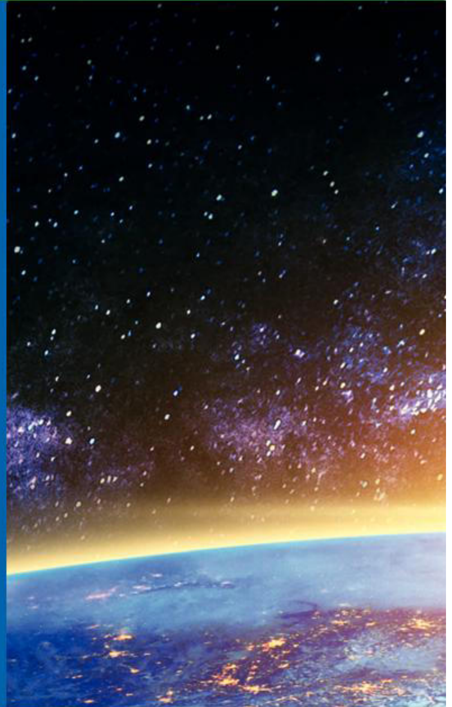
■ Gegevens elementen: zie tabel 40.

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
									4,003 0 2 He helium 2
				10,81 +3 5 B boor 2,3	12,01 +2 +4 −4 6 C koolstof 2,4	14,01 +1 +2 +3 +4 +5 −1 −2 −3 7 N stikstof 2,5	16,00 −2 8 O zuurstof 2,6	19,00 −1 9 F fluor 2,7	20,18 0 10 Ne neon 2,8
				26,98 +3 13 Al aluminium 2,8,3	28,09 +2 +4 −4 14 Si silicium 2,8,4	30,97 +3 +5 −3 15 P fosfor 2,8,5	32,06 +4 +6 −2 16 S zwavel 2,8,6	35,45 +1 +5 −1 17 Cl chloor 2,8,7	39,95 0 18 Ar argon 2,8,8
58,93 +2 +3 27 Co kobalt 15,2	58,69 +2 +3 28 Ni nikkel 16,2	63,55 +1 +2 29 Cu koper 18,1	65,38 +2 30 Zn zink 18,2	69,72 +3 31 Ga gallium 18,3	72,64 +2 +4 32 Ge germanium 18,4	74,92 +3 +5 −3 33 As arseen 18,5	78,96 +4 +6 −2 34 Se seleen 18,6	79,90 +1 +5 −1 35 Br broom 18,7	83,80 0 36 Kr krypton 18,8
102,9 +3 45 Rh rhodium 16,1	106,4 +2 +3 46 Pd palladium 18	107,9 +1 47 Ag zilver 18,1	112,4 +2 48 Cd cadmium 18,2	114,8 +3 49 In indium 18,3	118,7 +2 +4 50 Sn tin 18,4	121,8 +3 +5 −3 51 Sb antimoon 18,5	127,6 +4 +6 −2 52 Te telluur 18,6	126,9 +1 +5 +7 −1 53 I jood 18,7	131,3 0 54 Xe xenon 18,8
192,2 +3 +4 77 Ir iridium 32,15,2	195,1 +2 +4 78 Pt platina 32,17,1	197,0 +1 +3 79 Au goud 32,18,1	200,6 +1 +2 80 Hg kwik 32,18,2	204,4 +1 +3 81 Tl thallium 32,18,3	207,2 +2 +4 82 Pb lood 32,18,4	209,0 +3 +5 83 Bi bismut 32,18,5	(209) +2 +4 84 Po polonium 32,18,6	(210) 85 At astaat 32,18,7	(222) 0 86 Rn radon 32,18,8
(278) 109 Mt meitnerium 32,15,2	(281) 110 Ds darmstadtium 32,17,1	(281) 111 Rg roentgenium 32,18,1	(285) 112 Cn copernicium 32,18,2	(286) 113 Nh nihonium 32,18,3	(289) 114 Fl flerovium 32,18,4	(288) 115 Mc moscovium 32,18,5	(293) 116 Lv livermorium 32,18,6	(294) 117 Ts tennessine 32,18,7	(294) 118 Og oganesson 32,18,8

150,4 +2 +3 62 Sm samarium 24,8,2	152,0 +2 +3 63 Eu europium 25,8,2	157,3 +3 64 Gd gadolinium 25,9,2	158,9 +3 65 Tb terbium 27,8,2	162,5 +3 66 Dy dysprosium 28,8,2	164,9 +3 67 Ho holmium 29,8,2	167,3 +3 68 Er erbium 30,8,2	168,9 +3 69 Tm thulium 31,8,2	173,0 +2 +3 70 Yb ytterbium 32,8,2	175,0 +3 71 Lu lutetium 32,9,2
(244) +3 +4 +5 +6 94 Pu plutonium 24,8,2	(243) +3 +4 +5 +6 95 Am americium 25,8,2	(247) +3 96 Cm curium 25,9,2	(247) +3 +4 97 Bk berkelium 27,8,2	(251) +3 98 Cf californium 28,8,2	(252) +3 99 Es einsteinium 29,8,2	(258) +3 100 Fm fermium 30,8,2	(257) +2 +3 101 Md mendelevium 31,8,2	(259) +2 +3 102 No nobelium 32,8,2	(262) +3 103 Lr lawrencium 32,9,2


oerknal
grens waarneembaar heelal
10^{-25}
10^{25}
λ-higgsdeeltje
afstand tot Andromedanevel
10^{-20}
10^{20}
afstand tot Rigel
afstand tot Canopus
λ-quark
CERN
lichtjaar
∅ proton 10^{-15}
10^{15}
λ-gammastraling
∅ baan Pluto
λ-elektron
∅ H-atoom
zonnestelsel
10^{-10}
10^{10}
hemoglobine-
molecuul
∅ zon
eiwit/DNA
afstand
aarde-maan
ribosoom
∅ aarde
virus
bacterie
celkern
lengte
Chinese muur
10^{-5}
cel
10^{5}
hoogte atmosfeer
menselijke eicel
Caenorhabditis
elegans
Marianentrog
berg
fruitvlieg
heuvel
bij
walvis
huismus
mens
10^{0}



Noordhoff

MIX
Papier van
verantwoorde herkomst
FSC
www.fsc.org
FSC® C118189

ISBN 978-90-01-00724-9
9 789001 007249
